

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Інститут телекомунікаційних систем
Кафедра Інформаційно-телекомунікаційних мереж**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Лариса ГЛОБА

«__» _____ 2020 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Інформаційно-комунікаційні технології»

спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

на тему: «Перехід до архітектури 5G на основі існуючих 4G мереж»

Виконав:

студент IV курсу, групи ТІ-62

Федоров Сергій Олександрович _____

Керівник:

Доцент кафедри ІТМ ІТС, к.т.н, доцент,

Правило Валерій Володимирович _____

Рецензент:

Доцент кафедри ТК ІТС, к.т.н, доцент,

Явіся Валерій Сергійович _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут телекомунікаційних систем
Кафедра Інформаційно-телекомунікаційних мереж

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Інформаційно-комунікаційні технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Лариса ГЛОБА

« ____ » _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломну роботу студенту
Федорову Сергію Олександровичу

1. роботи «Перехід до архітектури 5G на основі існуючих 4G мереж», керівник роботи доцент кафедри інформаційно-телекомунікаційних мереж ІТС Правило Валерій Володимирович, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «30» березня 2020 р. № 924-с

2. Термін подання студентом роботи 8 червня 2020 р.

3. Зміст роботи

3.1. Загальний огляд 5G

3.2. Розгляд архітектури 5G

3.3. Перехід від 4G до 5G

4. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо): презентація в PowerPoint

4.1. Тема роботи

4.2. Актуальність

4.3. Об'єкт, предмет та мета дослідження

4.3. Задачі дослідження

4.4. Практична цінність

4.5. Розглянуті особливості

4.6. Висновок

4.7. Публікації

5. Дата видачі завдання 09.11.2019

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальний огляд мобільних мереж	09.11.2019-20.11.2019	виконано
2	Розгляд можливостей та вимог 5G	30.11.2019-31.12.2019	виконано
3	Дослідження архітектури 5G	01.02.2020-27.03.2020	виконано
4	Структурування опрацьованого матеріалу	27.03.2020-03.04.2020	виконано
5	Розгляд можливостей переходу від 4G до 5G	05.04.2020-29.04.2020	виконано
6	Вибір раціонального сценарію переходу	01.05.2020-29.05.2020	виконано
7	Оформлення пояснювальної записки	01.06.2020-07.06.2020	виконано

Студент

Сергій ФЕДОРОВ

Керівник

Валерій ПРАВИЛО

РЕФЕРАТ

Обсяг роботи: робота містить 68 сторінок, 20 рисунків, 2 таблиці, використано 18 джерел.

Актуальність: Мобільні мережі розвиваються дуже стрімко і займають все більш важливе місце в сучасному житті. Головною сучасною технологією, яку в наш час намагаються впровадити оператори мобільного зв'язку є 5G. В цій роботі розглядаються сценарії переходу до цієї технології та вибирається найбільш раціональний.

Об'єкт дослідження: перехід до мереж 5G.

Предмет дослідження: мережі 5G.

Мета роботи: Визначення раціонального сценарію розгортання мереж 5G.

Публікації:

Федоров С.О., Правило В.В. // XIV Міжнародна науково-технічна конференція "Перспективи телекомунікацій 2020" Безпроводові телекомунікаційні системи та технології, системи 5G, Інтернет речей

«Надширококутний мобільний зв'язок як один із перших сервісів 5G»

ABSTRACT

Volume of work: the work contains 68 pages, 20 figures, 2 tables, 18 sources were used.

Topicality: Mobile networks develop very quickly and occupy an increasingly important place in a modern life. The main modern technology that mobile operators are trying to implement nowadays is a 5G. This diploma considers the scenarios for the transition to this technology and selects the most rational.

Object of research: transition to the 5G networks.

Subject of research: 5G networks.

Goal: To determine a rational scenario for the deployment of the 5G networks.

Publications:

Fedorov S.O., Pravylo V.V. // XIV International Scientific and Technical Conference "Perspectives of Telecommunications 2020" Wireless telecommunications systems and technologies, 5G systems, Internet of Things

"Enhanced Mobile Broadband as one of the first 5G services"

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	Ошибка! Закладка не определена.
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ ОГЛЯД 5G.....	11
1.1. Історія розвитку мобільних мереж.....	11
1.2. Що таке 5G.....	17
1.3. Стандартизація	18
1.4. Сценарії використання та вимоги	19
1.5. 5G та Інтернет Речей.....	22
1.6. Основні технології	23
1.6.1. Надширокосмуговий мобільний зв'язок	23
1.6.2. Масовий міжмашинний зв'язок.....	25
1.6.3. Наднадійний мобільний зв'язок з низькими затримками.....	26
РОЗДІЛ 2. РОЗГЛЯД АРХІТЕКТУРИ 5G	29
2.1. Аналіз існуючих недоліків в мережах п'ятого покоління.....	29
2.2. Технологічні рішення мереж п'ятого покоління	31
2.2.1. Massive MIMO	31
2.2.2. Перехід в сантиметровий та міліметровий діапазони	32
2.2.3. Мультитехнологічність	33
2.2.4. D2D (Device-to-device) та M2M (Machine-to-machine).....	34
2.2.5. Використання нових сигнально-кодових конструкцій в мережах 5G.....	34
2.2.6. Нова архітектура мережі	35
2.3. Архітектура 5G.....	35
2.3.1. Програмні модулі і мережеві функції	37
2.3.2. CUPS (control and user plane separation)	38
2.3.3. Network Slicing	39
2.3.4. PDU сесії	40
2.4. Архітектура базових станцій gNB.....	41

2.5. Інтерфейси базових станцій gNB	44
РОЗДІЛ 3. ПЕРЕХІД ВІД 4G ДО 5G	51
3.1. Сценарії міграції від LTE до 5G	51
3.2. Опції співіснування 4G та 5G	53
3.3. Вибір сценарію міграції.....	64
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	68

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

5G	5-е покоління мобільних мереж
IoT	(Internet of Things, IoT) – Інтернет речей
LTE	(Long Term Evolution) — назва мобільного протоколу передачі даних
URLLC	(Ultra-Reliable Low Latency Cellular network) – Наднадійна мобільний зв'язок з низькими затримками;
eMBB	(Enhanced Mobile Broadband) - Надширокосмуговий мобільний зв'язок
mMTC	(Massive Machine-Type Communications,) - Масовий міжмашинний зв'язок
3GPP	(3rd Generation Partnership Project) - альянс з семи організацій, які розробляють різні стандарти телекомунікацій
CUPS	Control and user plane separation
RRC	Radio Resource Control
SDAP	Service Data Adaptation Protocol
PDCP	Packet Data Convergence Protocol
RLC	Radio Link Control
MAC	Medium Access Control
SA	Standalone
NSA	Non-Standalone
UP	User Plane
CP	Control Plane

ВСТУП

На сьогоднішній день триває активне зростання мереж мобільного зв'язку. Можливості, що відкриваються мобільними технологіями, давно перейшли за рамки голосових послуг. Експоненціальне зростання трафіку в мережах по всьому світу пояснюється широким розповсюдженням пристроїв, підключених до мереж мобільного зв'язку.

В процесі розвитку мобільних мереж до них пред'являються нові і самі різні вимоги. Вектор розвитку технологій прагне до збільшення продуктивності і зростання числа можливостей. Тож до існуючих технологій третього і четвертого поколінь, з'явилась технологія, що дозволяє вирішувати ті завдання, які в рамках попередніх поколінь мобільного зв'язку вирішити було неможливо. Грамотна інтеграція існуючих і нових технологій призведе до підвищення якості обслуговування і появи великої кількості нових послуг.

Результатом розвитку технологій є поява мереж п'ятого покоління (5G). Вважається, що мережі четвертого покоління (4G) будуть домінуючими в усьому світі і після 2020 року, через що можна говорити не про заміну існуючих технологій на 5G, а про їх розвиток і доповнення новими технологіями радіодоступу, призначеними для конкретних сценаріїв і певних цілей.

Очевидно, що поява мереж нового покоління по ряду причин має найбільшу актуальність в великих містах. Це пов'язано з високими запитами по швидкості передачі даних, пропускної спроможності, місткості мережі, а також з вимогами до малого часу відгуку і низькому енергоспоживанню мобільних пристроїв.

Об'єктом дослідження є перехід до мереж 5G.

Предметом дослідження є мережі 5G.

Метою дослідження є визначення раціонального сценарію розгортання мереж 5G.

До задач дослідження відносяться загальний огляд 5G мереж, розгляд архітектури мереж п'ятого покоління та розгляд переходу від 4G мереж до 5G мереж.

Виявлення актуальних проблем сучасних мереж зв'язку дозволяє виділити вимоги, що пред'являються до технологій п'ятого покоління, спрогнозувати сценарії їх використання, після чого розглянути способи переходу та співіснування 4G та 5G мереж.

РОЗДІЛ 1.

ЗАГАЛЬНИЙ ОГЛЯД 5G

1.1. Історія розвитку мобільних мереж

Еволюція систем мобільного зв'язку включає в себе кілька поколінь 1G, 2G, 3G і 4G.

Перше покоління мобільного зв'язку (1G)

Офіційним днем народження стільникового зв'язку вважається 3 квітня 1973 року, коли глава підрозділу мобільного зв'язку компанії Motorola Мартін Купер подзвонив начальнику дослідного відділу AT & T Bell Labs Джоелю Енгелю, перебуваючи на жвавій Нью-йоркській вулиці. Саме ці дві компанії стояли біля витоків мобільної телефонії. Комерційну реалізацію дана технологія отримала 11 років по тому, в 1984 році, у вигляді мобільних мереж першого покоління (1G), які були засновані на аналоговому способі передачі інформації.

Основними стандартами аналогового мобільного зв'язку стали AMPS (Advanced Mobile Phone Service - вдосконалена рухома телефонна служба) (США, Канада, Центральна і Південна Америка, Австралія), TACS (Total Access Communications System - тотальна система доступу до зв'язку) (Англія, Італія, Іспанія, Австрія, Ірландія, Японія) і NMT (Nordic Mobile Telephone - північний мобільний телефон) (країни Скандинавії і ряд інших країн). Були й інші стандарти аналогового мобільного зв'язку - 3-450 в Німеччині і Португалії, RTMS (Radio Telephone Mobile System - радіотелефонна мобільна система) в Італії, Radiocom 2000 у Франції. В цілому мобільний зв'язок першого покоління представляла собою клаптикову ковдру несумісних між собою стандартів.

За часів 1G ніхто не думав про послуги передачі даних - це були аналогові системи, задумані і розроблені виключно для здійснення голосових викликів і

деяких інших скромних можливостей. Модеми існували, однак через те, що бездротовий зв'язок більш схильний до шумів і спотворень, ніж звичайний дротовий, швидкість передачі даних була неймовірно низькою. До того ж, вартість хвилини розмови в 80-х була такою високою, що мобільний телефон міг вважатися розкішшю.

У всіх аналогових стандартах застосовується частотна (ЧМ) або фазова (ФМ) модуляція для передачі мови і частотна маніпуляція для передачі інформації управління. Цей спосіб має ряд істотних недоліків: можливість прослуховування розмов іншими абонентами, відсутність ефективних методів боротьби з завмираннями сигналів під впливом навколишнього ландшафту і будівель або внаслідок пересування абонентів. Для передачі інформації різних каналів використовуються різні ділянки спектру частот - застосовується метод множинного доступу з частотним поділом каналів (Frequency Division Multiple Access - FDMA). З цим безпосередньо пов'язаний основний недолік аналогових систем - відносно низька ємність, що є наслідком недостатньо раціонального використання виділеної смуги частот при частотному поділі каналів.

Друге покоління мобільного зв'язку (2G)

У 1982 році СЕРТ (франц. Conférence européenne des administrations des postes et télécommunications - Європейська конференція поштових і телекомунікаційних відомств) сформувала робочу групу, названу спеціальною групою по рухомого зв'язку GSM (франц. Groupe Spécial Mobile) для вивчення і розробки Європейської наземної системи рухомого зв'язку загального застосування - друге покоління систем стільникового телефонії (2G). Назва робочої групи GSM також стало використовуватися в якості назви системи рухомого зв'язку. У 1989 році обов'язки СЕРТ були передані в Європейський інститут стандартів в телекомунікації ETSI (англ. European Telecommunications Standards Institute). Спочатку GSM призначалася тільки для країн-членів ETSI.

Однак багато інших країн також мають реалізовану систему GSM, наприклад, Східна Європа, Середній Схід, Азія, Африка, Тихоокеанський регіон і Північна Америка (з похідною від GSM, названої PCS1900). Назва GSM стало означати "глобальна система для рухомого зв'язку", що відповідає її сутності.

Основними перевагами мереж 2G в порівнянні з попередниками було те, що телефонні розмови були зашифровані за допомогою цифрового шифрування; система 2G надала послуги передачі даних, починаючи з текстових повідомлень СМС.

Зростаюча потреба користувачів мобільного зв'язку в використанні Інтернет з мобільних пристроїв стала основним поштовхом для появи мереж, покоління 2,5G, які стали перехідними між 2G і 3G. Мережі 2,5G використовують ті ж стандарти мобільного зв'язку, що і мережі 2G, але до наявних можливостей додалася підтримка технологій пакетної передачі даних - GPRS (англ. General Packet Radio Service - пакетна радіозв'язок загального користування), EDGE (англ. Enhanced Data rates for GSM Evolution - підвищена швидкість передачі даних для розвитку GSM) в мережах GSM. Використання пакетної передачі даних дозволило збільшити швидкість обміну інформацією при роботі з мережею Інтернет з мобільного пристроїв до 384 кбіт / с, замість 9,6 кбіт / с у 2G-мереж.

Третє покоління мобільного зв'язку (3G)

Подальшим розвитком мереж мобільного зв'язку став перехід до третього покоління (3G). 3G - це стандарт мобільного цифрового зв'язку, який під аббревіатурою IMT-2000 (англ. International Mobile Telecommunications - міжнародна мобільний зв'язок 2000) об'єднує п'ять стандартів - W-CDMA, CDMA2000, TD-CDMA / TD-SCDMA, DECT (англ. Digital Enhanced Cordless Telecommunication - технологія поліпшеного цифрового бездротового зв'язку). З перерахованих складових частин 3G тільки перші три представляють собою

повноцінні стандарти стільникового зв'язку третього покоління. DECT - це стандарт бездротової телефонії домашнього або офісного призначення, який в рамках мобільних технологій третього покоління, може використовуватися тільки для організації точок гарячого підключення (хот-спотів) до даних мереж.

Стандарт IMT-2000 дає чітке визначення мереж 3G - під мобільною мережею третього покоління розуміється інтегрована мобільна мережа, яка забезпечує: для нерухомих абонентів швидкість обміну інформацією не менш 2048 кбіт / с, для абонентів, що рухаються зі швидкістю не більше 3 км / год - 384 кбіт / с, для абонентів, які прямують зі швидкістю не більше 120 км / ч - 144 кбіт / с. При глобальному супутниковому покритті мережі 3G повинні забезпечувати швидкість обміну не менше 64 кбіт / с. Основою всіх стандартів третього покоління є протоколи множинного доступу з кодовим розділенням каналів.

Четверте покоління мобільного зв'язку (4G)

У березні 2008 року сектор радіозв'язку Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ-Р) визначив ряд вимог для стандарту міжнародного рухомого бездротового широкосмугового зв'язку 4G, який отримав назву специфікацій International Mobile Telecommunications Advanced (IMT-Advanced), зокрема встановивши вимоги до швидкості передачі даних для обслуговування абонентів : швидкість 100 Мбіт / с повинна надаватися високорухомих абонентам (наприклад, поїздам і автомобілям), а абонентам з невеликою рухливістю (наприклад пішоходам і фіксованим абонентам) повинна надаватися швидкість 1 Гбіт / с.

Так як перші версії мобільного WiMAX (англ. Worldwide Interoperability for Microwave Access - всесвітня сумісність для мікрохвильового доступу) і LTE (англ. Long Term Evolution - довгостроковий розвиток) підтримують швидкості

значно менше 1 Гбіт / с, їх не можна назвати технологіями, відповідними ІМТ-Advanced, хоча вони часто згадуються постачальниками послуг, як технології 4G. 6 грудня 2010 року МСЕ-Р визнав, що найбільш просунуті технології розглядають як 4G.

Основною, базовою, технологією четвертого покоління є технологія ортогонального частотного ущільнення OFDM (англ. Orthogonal Frequency-Division Multiplexing - мультиплексування з ортогональним частотним поділом каналів). Крім того, для максимальної швидкості передачі використовується технологія передачі даних за допомогою N антен і їх прийому M антенами - MIMO (англ. Multiple Input / Multiple Output - безліч входів / безліч виходів). При даній технології передавальні і прийомні антени рознесені так, щоб досягти слабкої кореляції між сусідніми антенами.

LTE

Технологія LTE - це основний напрямок еволюції мереж стільникового зв'язку третього покоління (3G). У січні 2008 р. міжнародне об'єднання Third Generation Partnership Project (3GPP), що розробляє перспективні стандарти мобільного зв'язку, затвердив LTE в якості наступного після UMTS стандарту широкосмугової мережі мобільного зв'язку.

Міжнародний союз електрозв'язку вибрав в якості стандартів бездротового широкосмугового зв'язку четвертого покоління (4G) дві технології - LTE-Advanced і WirelessMAN-Advanced (базується на стандарті WiMAX). Відповідно до критеріїв, певними експертами, стандартом бездротового зв'язку четвертого покоління можуть вважатися технології, що забезпечують пікову швидкість передачі даних 100 Мбіт / с в русі і 1 Гбіт / с при стаціонарному використанні. Розгорнуті LTE- і WiMAX-мережі, які в маркетингових цілях часто відносять до 4G, не відповідають оприлюдненими ІТУ вимогам (їх пропускна здатність приблизно в три рази нижче встановлених критеріїв).

LTE забезпечує теоретичну пікову швидкість передачі даних до 326,4 Мбіт / с від базової станції до користувача (де-факто 5-10 Мбіт / с) і до 172,8 Мбіт / с у зворотному напрямку. Для порівняння, мережі другого покоління (2G) теоретично здатні забезпечити пікову швидкість передачі даних за допомогою технології GPRS 56-114 Кбіт / с, а допомогою EDGE до 473,6 Кбіт / с. Мережі третього покоління (3G) забезпечують швидкість передачі даних до 3,6 Мбіт / с.

LTE Advanced

У травні 2012 року Такехіро Накамура, голова робочої групи 3GPP Radio Access Networks, директор NTT DoCoMo Radio System Design Group, оприлюднив результати натурних випробувань перспективної технології LTE Advanced, яка представляє собою нову ступінь в еволюції мобільних мереж. Заявлена в цій специфікації швидкість передачі даних повинна скласти 1 Гбіт / с у напрямку до абонента і 500 Мбіт / с від абонента. Проведені в мережі DoCoMo експерименти підтвердили високу продуктивність LTE Advanced в дослідній зоні, показавши швидкість 600 Мбіт / с вниз і 200 Мбіт / с вгору в умовах щільної міської забудови при русі в автомобілі.

LTE Advanced - наступне покоління мереж LTE, четвертого покоління мобільного зв'язку. Відрізняється від «базового» LTE більшою швидкістю передачі даних і можливістю розподілений транслювати один і той же сигнал відразу за кількома діапазонами. Для цих мереж також розробка спрямованих антен, які зможуть передавати сигнал в лише бік абонента. Крім того, LTE Advanced підтримує можливість ретрансляції - вихід в мережу одного пристрою через інше.

1.2. Що таке 5G

Індустрія мобільного зв'язку розвивається з дивовижною швидкістю, і в даний час вона стала однією з опорних галузей світового економічного розвитку. Безперечно, що технологія мобільного зв'язку змінює життя та роботу людей і надалі матиме великий вплив на соціальний розвиток. Відповідно, у людей постійно зростає залежність і попит на мобільний зв'язок. В останні роки у мобільному зв'язку виникає конкурентний бізнес, що призвело до швидкого розвитку технології зберігання та обробки масових даних. Тим часом було зроблено багато проривів у дослідженні та розробці процесора штучного інтелекту та обладнання, працюючого в режимі реального часу. Поява цих нових технологій робить життя людей зручнішим. Та крім цього, було висунуто більший виклик сучасним технологіям мобільного зв'язку.

Тому 5G стикається як з можливостями, так і з проблемами. Для користувачів бачення 5G - це "інформація надходить, як ви хочете, і все завжди на зв'язку". Ми особисто будемо відчувати ненажерливе застілля інформаційної доби. Метою віку 5G є побудова стійкої, зручної та економічної інформаційної екосистеми для людини. В розробку 5G будуть включені різні особливості інформаційної доби, і користувачі зможуть насолоджуватися більш зручним та розумним життям. З популярністю пересувних пристроїв, типи та кількість мобільних терміналів зазнають вибухонебезпечного зростання. Передбачувано в майбутньому попит на віртуальну реальність та досвід розширеної реальності, попит на хмарне зберігання масивних офісних даних, бездротове управління виробництвом чи виробничими процесами, віддалену медичну хірургію, автоматизацію в інтелектуальній мережі, безпеку транспорту та інші аспекти, не тільки вимагають від 5G швидкості передачі даних для досягнення дуже високого рівня, але також вимагають реакції в реальному часі з майже нульовою затримкою. Крім того, слід враховувати зменшення витрат та економію енергії.

1.3.

Стандартизація

3GPP (3rd Generation Partnership Project) - альянс з семи організацій, які розробляють різні стандарти телекомунікацій, в які, в свою чергу входять інші партнери. Завдання 3GPP - формулювання технічних вимог, оцінка пропозицій, і остаточне прийняття стандартів. В середині 2017 року було ухвалено версія загального стандарту Release 15, версія Release 16 була прийнята в 2019 г. Крім розробки загальної архітектури, 3GPP також розробляє стандарти радіо-технологій 5G New Radio (NR) для нових частотних діапазонів, що виділяються під 5G.

ETSI (European Telecommunication Standard Institute), Європейський інститут телекомунікаційних стандартів, який є членом 3GPP, і найбільш активно працює в області розробки стандартів 5G.

IETF (Internet Engineering Task Force) розробляє рішення модернізації IP-протоколу для підтримки віртуалізації мережевих функцій NFV (Network Function Virtualization). Наприклад, IETF розробила технологію зчипки функцій сервісів SFC (Service Function Chaining), яка комбінує віртуалізовані компоненти архітектури 5G, наприклад, базові станції, шлюзи послуг та пакетів даних в єдиному маршруті. Це дозволяє динамічне створення і зчеплення віртуальних мережевих функцій VNF (Virtual Network Functions). IETF працює в тісній взаємодії з 3GPP.

ITU (International Telecommunication Union) - агентство ООН, розташоване в Женеві, яке займається стандартизацією широкого спектра

телекомунікаційних технологій. Зокрема, воно координує роботу по спільному використанню спектру радіочастот, в т.ч. для мереж 5G.

Крім цих трьох основних координуючих організацій, є ряд інших, в яких ведеться планомірна практична робота з розробки стандартів IMT2020 (5G).

5GPPP (5G Infrastructure Public Private Partnership), вважається одним з провідних партнерств по стандартизації 5G. Організація ставить амбітні цілі щодо розробки вимог до мережі 5G, наприклад, збільшення ємності мережі в 1000 разів, зниження енергоспоживання призначених для користувача пристроїв на 90%, істотне скорочення часу створення нових сервісів і послуг, повне і безпечне мережеве покриття і з нехтувано малою затримкою передачі даних, та ін.

NGMN (Next Generation Mobile Networks) Alliance. Альянс мобільних мереж наступного покоління займається стандартизацією повного спектру рішень 5G. У альянс входить керівництво провідних американських операторів: AT & T, U.S. Cellular і Verizon.

Крім зазначених, існують галузеві та регіональні організації, такі як 5G Americas, Small Cell Forum, які також вносять великий внесок в розробку і стандартизацію рішень 5G.

1.4. Сценарії використання та вимоги

Сценарії застосувань 5G пов'язані з усіма аспектами повсякденного життя, роботи, розваг та транспорту, а бездротовий зв'язок демонструватиме різні характеристики у різних випадках. Наприклад, зони переповнених або щільних

мобільних пристроїв, таких як житлові райони, стадіони та торгові центри, матимуть характеристики високої густини руху та велику кількість сполучень, тоді як для транспортних засобів, таких як метро і швидкісні залізниці, особливість високої мобільності бездротового зв'язку буде помітною. В даний час система мобільного зв'язку четвертого покоління (4G) не в змозі задовольнити вимоги деяких випадків, що відрізняються високою щільністю об'єму трафіку, високою кількістю з'єднань або високою мобільністю.

У переповнених місцях, таких як стадіони, які потребують надвисокої густини трафіку та надвисокої щільності зв'язку, нам потрібна швидкість передачі бездротових комунікацій така висока, як у оптичного волокна, щоб вона могла здійснювати такі операції, як передача фотографій, передача відео, трансляція потокового відео в прямому ефірі та інші послуги. У сценаріях швидкісної мобільності, наприклад, високошвидкісна залізниця, щільність об'єму руху та зв'язок відносно нижчі, ніж на стадіонах. Оскільки швидкість швидкісних поїздів може перевищувати 200 км / год, для систем бездротового зв'язку великою вимогою є підтримка швидкісної мобільності.

Незважаючи на те, що зараз нам дуже зручно отримувати доступ до Інтернету, половина нашого світу все ще перебуває поза його охопленням. З розвитком та зміною Інтернету його значимість відповідно збільшується, і все більше пристроїв пов'язані між собою. На даний момент кількість пристроїв, підключених до мережі в кілька разів перевищує населення Землі, включаючи деякі важко підключені пристрої, які знаходяться під водою або поза покриттям супутника, і їх стає все більше і більше, тому важливо відповідати вимогам широкого охоплення в майбутньому.

Прогнозується, що протягом тривалого періоду в майбутньому мобільний трафік даних буде продовжувати демонструвати вибухонебезпечне зростання: з 2010 по 2020 рік збільшення глобального мобільного трафіку даних зросло більш ніж у 200 разів, а з 2010 по 2030 зросте - більше, ніж у 20000 разів.

Отже, виходячи з вимог, зазначених вище, загальні цілі 5G: набагато швидше, ефективніше та розумніше. Конкретні вимоги до продуктивності 5G наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1
Вимоги до продуктивності 5G

	Значення
Пікова швидкість	>10 Гбіт/с
Швидкість для користувача	до 1 Гбіт/с
Щільність підключень	Мільйон з'єднань/квадратний кілометр
Мобільність	До 500 км/год в швидкісних поїздах
Затримка	1 мс

Для задоволення потреб користувачів у різних випадках потрібна комбінація різних технологій для досягнення вимог щодо продуктивності 5G у наведених вище таблиці. Наприклад, ультра щільна технологія бездротового зв'язку може внести свій внесок у покращення показників продуктивності швидкості передачі даних, щільності зв'язку та щільності обслуговування за рахунок збільшення щільності розгортання базових станцій. Технологія масивних антен може значно підвищити ефективність використання спектру за рахунок збільшення кількості антен, а це має важливе значення для покращення пікової швидкості передачі даних, швидкості передачі даних, щільності зв'язку та щільності обслуговування.

1.5. 5G та Інтернет Речей

Народження 5G значною мірою спричинило масштабне зростання мобільного Інтернету та Інтернету речей (IoT), а застосування 5G головним чином лежить у розвитку цих двох мереж. В останні роки мобільний Інтернет, як носій основного бізнесу мобільного зв'язку, значно сприяв розвитку різних галузей інформаційного обслуговування. Різні постачальники послуг повністю використали переваги своїх ресурсів та послуг та розробили численні сучасні «свіжі» програми. На даний момент користувачі бачать більш зручні функції, реалізовані за допомогою мобільного Інтернету, і попит на віртуальну реальність та доповнену реальність в ігровій індустрії тільки зростає. З подальшим розвитком мобільного Інтернету швидкість передачі інформації зросте в тисячі разів.

IoT - ідеальний приклад повного застосування технології нового покоління. На всіх життєвих рівнях люди здатні керувати виробництвом та жити більш прораховано та динамічно за допомогою IoT, досягаючи «розумного» стану та покращуючи використання ресурсів, а також рівень продуктивності праці. IoT, як основний інструмент для здійснення розумного життя, праці та виробництва, поширює комунікацію від людини до людини, від людини до речі і від речі до речі. Застосування IoT надзвичайно широке, включаючи охорону навколишнього середовища, інтелектуальний транспорт, громадську безпеку, роботу уряду, безпеку дому, інтелектуальну пожежну охорону, моніторинг навколишнього середовища, контроль освітлення, охорону здоров'я, простеження харчових продуктів, сільське господарство, моніторинг водної системи, збір інформації та багато інших переваг. Можна сказати, що IoT буде наступною «важливою продуктивною силою», яка сприятиме прогресу суспільства. Тому важливо сприяти розвитку IoT, а розвиток IoT залежить від розвитку комунікаційних технологій. Можливо, що в момент, коли IoT стане

звичним та дуже поширеним аспектом у нашому житті, передача інформації буде дуже частою між девайсом до девайса, людиною до девайса і людиною до людини, і ця зміна не тільки принесе життєздатність та можливості, але й створить великий виклик для мобільного зв'язку.

1.6. Основні технології

1.6.1. Надширокосмуговий мобільний зв'язок

Серед послуг, які пропонує 5G це реалізація надширокосмугового мобільного зв'язку (Extreme Mobile Broadband, eMBB).

Надширокосмуговий мобільний зв'язок (eMBB) - це одна із трьох головних послуг, визначених для 5G. eMBB спочатку було розширенням до існуючих 4G-сервісів і одним із перших 5G-сервісів, котрі можна придбати.

eMBB можна розглядати як першу фазу 5G, яка охоплена оновленням стандартів 3GPP Release 15. Друга фаза 5G виходить за рамки сервісів eMBB для більш трансформаційних додатків URLLC та mMTC та включена до випуску

16.

Взявши за приклад підключені автомобілі, перша фаза послуг eMBB передбачає покращені інформаційні розваги на транспортних засобах, такі як сповіщення про дорожній рух у режимі реального часу, швидкісний доступ до Інтернету, потокове відео в режимі реального часу або ігри в 3D-відео 4K. Друга фаза - це автономні транспортні засоби масового масштабу, здатні підключатися до інших транспортних засобів та навколишньої дорожньої інфраструктури та взаємодіяти з ними.

При використанні eMBB є три різних ознаки, які 5G потрібно буде досягнути:

- Більш висока пропускна спроможність - широкосмуговий доступ повинен бути у густонаселених районах, як у приміщенні, так і на вулиці, як у

центрах міста, офісних будівлях або громадських місцях, таких як стадіони або конференц-центри.

- Розширений зв'язок - широкосмуговий доступ повинен бути доступний скрізь, щоб забезпечити постійний користувацький доступ.
- Більш висока мобільність користувачів - надасть можливість мобільних широкосмугових послуг у русі транспортних засобів, включаючи автомобілі, автобуси, поїзди та літаки.

Ці категорії випадків використання матимуть різні вимоги. У сценарії «гарячої точки», коли на спортивному заході багато користувачів, наприклад глядачів, буде потреба у дуже високій пропускній спроможності для задоволення потреб усіх користувачів, але ці користувачі будуть статичні або рухатись повільно тому вимога до мобільності буде низькою. Навпаки, для надання послуг eMBB пасажиром у швидкісному поїзді буде потрібний високий ступінь мобільності, але ємність трафіку буде нижчою, ніж у гарячої точки.

Раннє використання можливостей eMBB зосереджується на споживчому ринку та необхідності кращого та швидшого підключення для обробки високоякісного відеоконтенту, збільшення кількості контенту, створеного користувачем, та наших очікувань можливості передавати те, що ми хочемо, куди хочемо та коли хочемо, без необхідності входити в мережу WiFi.

Але eMBB - це не лише споживання мультимедійного контенту для розважальних цілей. Він підтримуватиме маршрутний доступ до додатків із хмарних просторів на шляху до роботи, віддалених працівників на місцях, які потребують спілкування з бек-офісом, або ж із цілим розумним офісом, де всі пристрої підключені бездротово та безперебійно. Зрештою, це дозволить додаткам від повністю занурених VR та AR до відеоспостереження в режимі реального часу та віртуальних зустрічей з 360 відео, взаємодіяти в режимі реального часу та навіть можливості перекладу в реальному часі для учасників, які говорять на різних мовах.

1.6.2. Масовий міжмашинний зв'язок

Мережі 5G розвиваються з метою прагнення підтримувати широкий спектр дуже вимогливих сервісів та застосувань, шляхом підштовхування мережевих можливостей для забезпечення надзвичайної продуктивності, включаючи підтримку масово пов'язаних між собою пристроїв у контексті машинного типу зв'язку (МТС).

МТС - парадигма комунікації, де низка пристроїв або «речей» приєднана до Інтернету або безпосередньо пов'язана і спілкується між собою з невеликим або без втручання людини. У епоху 5G були розроблені нові програми для МТС, які обслуговують величезну кількість «речей», запроваджуючи так званий масивний МТС (mMTC) або масовий Інтернет речей (mIoT). Ці автономно комунікаційні машини створюватимуть більш досконалий мобільний трафік у сфері машина-машина (M2M).

Завдання масовості викликало розвиток нових бездротових технологій для цієї парадигми зв'язку, особливо в області пристроїв M2M. Основна мета - розробка систем, які можуть підтримувати величезну кількість недорогих пристроїв, що поширюються в широкій області, які споживають наднизьку потужність і підтримуватимуть різні види послуг.

В даний час різноманітні організації та провайдери стільникової мережі розробляють рішення для підключення mMTC. Основна увага приділяється використанню 5G та LTE (4G), а також неліцензованих частин спектру через LPWAN.

mMTC пропонує можливість для IoT розширитись від обмеженого споживання користувачами до загальної або інфраструктурної зручності, яку використовують бізнес-галузі та організації державного сектору. mMTC має можливість критично впливати та змінювати повсякденне життя для великого

населення через розвиток "розумних" міст, де Інтернет всього (IoE) створює повністю мережеве суспільство.

Дана область застосування характеризується можливістю підключення дуже великої кількості дешевих (вартістю менше 5 \$) пристроїв. Прикладами таких пристроїв служать різні датчики (наприклад, датчики пожежної сигналізації, задимлення, температури), лічильники (води, газу, тепла тощо), сенсори і т.д. Крім низької вартості, відмінною рисою таких пристроїв є низьке енергоспоживання. Це необхідно для того, щоб забезпечити тривалий час (кілька років) роботи від автономних джерел живлення (наприклад, батарейок). Обсяги даних, що передаються цими пристроями, також незначні. Тому високі швидкості передачі даних в mMTC області не є критичним аспектом.

1.6.3. Наднадійний мобільний зв'язок з низькими затримками

Наднадійний зв'язок із низькою затримкою або URLLC - це один із сервісів, підтримуваних стандартом 5G Нове радіо (NR), як це передбачено 3GPP. Послуги для пристроїв, що залежать від затримки, таких як автоматизація на заводі, автономне керування автомобілем, промисловий Інтернет та розумна мережа або роботизовані операції.

Однією з ключових особливостей URLLC є LL або низька затримка. Низька затримка важлива для гаджетів, які, керують самі собою. Низька затримка дозволяє оптимізувати мережу для обробки неймовірно великих обсягів даних з мінімальною затримкою. Мережам необхідно в режимі реального часу адаптуватися до великої кількості змінних даних. 5G дозволить цій службі функціонувати. URLLC є, мабуть, найбільш перспективним доповненням до майбутніх можливостей 5G, але це також буде найскладніше; URLLC вимагає якості обслуговування (QoS), що повністю відрізняється від

мобільних широкосмугових послуг. Він надасть мережам миттєві та інтелектуальні послуги.

URLLC гарантує затримку в 1 мс або менше. Для того, щоб досягти низької затримки, всі пристрої повинні синхронізуватися на одній часовій базі. Інтерфейс, що враховує час, є ще одним компонентом можливостей URL-адреси 5G. Це дозволить визначити час, який використовується для управління трафіком.

Сервіс з низькою затримкою та високою надійністю включає декілька компонентів: інтегровану структуру кадру, неймовірно швидку реакцію, ефективний контроль та обмін ресурсами даних, безоплатну передачу на основі висхідної лінії зв'язку та розширені схеми кодування каналів.

Наднадійний зв'язок із низькою затримкою являє собою повний ігровий механізм для комунікаційних технологій в сучасну епоху. Завдяки цьому ми можемо проводити віддалені хірургічні операції, примушувати наші машини їхати без нас, а також підвищувати продуктивність техніки у великих масштабах.

Головні можливості цих трьох технологій показані на Рис. 1.1.

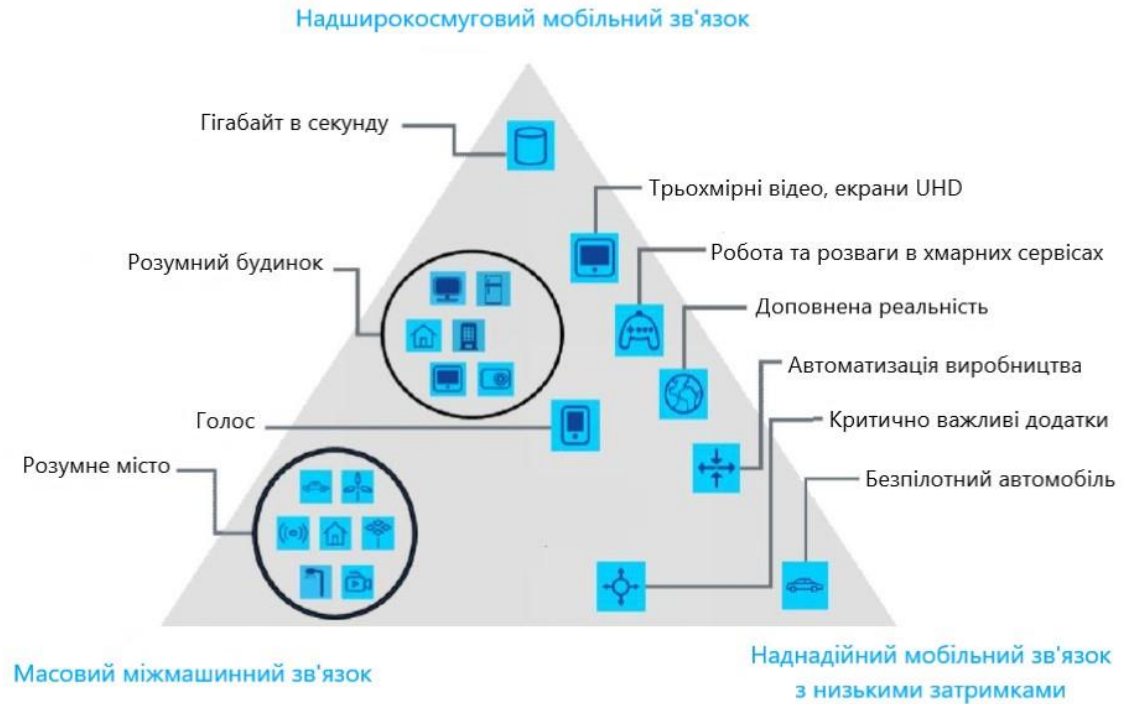


Рис. 1.1. Можливості 5G

Висновки:

Технології мобільної передачі даних розвиваються дуже стрімко і разом з ними зростає необхідність людей в більших швидкостях та пропускній здатності, можливості підтримки більшої кількості пристроїв. 5G може дати велику кількість переваг для людей та корпорацій, в тому числі в сфері Інтернету Речей, автоматизації виробництва та покращення можливостей в сфері розваг та споживання мультимедійного контенту.

РОЗДІЛ 2.

РОЗГЛЯД АРХІТЕКТУРИ 5G

2.1. Аналіз існуючих недоліків в мережах п'ятого покоління

Існуючі технології мобільного широкосмугового доступу, такі як HSPA і LTE, будуть і далі розвиватися і забезпечать основу нового стандарту мереж п'ятого покоління. Висока якість доступу до високошвидкісних мобільних сервісів стане можливою завдяки впровадженню інтелектуальних антен з великим числом керованих елементів і освоєнню нових частотних діапазонів. Крім того, зміни будуть полягати в істотному розширенні міжмашинної взаємодії.

З метою опрацювання значного обсягу призначеного для користувача трафіку і досягнення швидкості передачі даних в декілька Гбіт / с в конкретних сценаріях планується надщільне розгортання мереж, базові станції в яких будуть використовувати дуже широку смугу пропускання в верхніх діапазонах частот за допомогою нових технологій радіодоступу.

Занадто щільні мережі будуть складатися з малопотужних базових станцій, розміщених з набагато більш високою щільністю в порівнянні з тим, як базові станції встановалися раніше. У крайніх випадках всередині приміщень базові станції будуть встановлюватися в кожній кімнаті, а поза приміщеннями вони будуть розміщуватися по відношенню один до одного на відстані освітлювальних стовпів. Для підтримки гігабітних швидкостей занадто щільні мережі повинні забезпечувати смугу пропускання не нижче декількох сотень мегагерц з можливістю розширення до декількох гігагерц. Занадто щільні мережі будуть працювати, в більшій мірі, в діапазоні частот 10 ... 100 ГГц. Актуальним є питання про використання даних частот для глобального

розгортання, в тому числі щодо загасання сигналу при його проникненні в приміщення. Розглянуті частоти більше підходять для передачі даних на короткі відстані, властиві надщільним мережам. Високочастотні діапазони полегшують завдання забезпечення широкої смуги пропускання, необхідної для підтримки гігабітних швидкостей передачі даних.

Незважаючи на те, що занадто щільні мережі працюють в іншому діапазоні і засновані на нових технологіях радіодоступу, вони повинні бути добре інтегровані з уже побудованим рівнем стільникових мереж. При цьому користувач не повинен відчувати ніякого дискомфорту при переміщенні із зони покриття надщільних мереж і назад.

У тих ситуаціях, коли користувачі знаходяться на малій відстані один від одного, і коли інформація специфічна для конкретного місця використання (безпека руху, державна безпека, охорона громадського порядку і загальні служби ближньої дії), є сенс в організації обміну даними безпосередньо між пристроями по протоколу «пристрій-пристрій» (D2D). Під управлінням мережевого протоколу D2D запропонує локальним службам надійність класу оператора мобільного зв'язку, так як мережа зможе управляти трафіком D2D в ліцензованому діапазоні. Крім того, D2D зможе послужити важливим компонентом для додатків охорони громадського порядку, оскільки дозволяє використовувати локальний зв'язок навіть в разі пошкодження мережевої інфраструктури.

Надійність в великій мірі залежить від архітектури і конфігурації мережі, а також достатньої кількості ресурсів для обробки пікових навантажень. Відносно інфраструктурного обладнання нового покоління необхідно буде диференціювати різні види трафіку на рівні мережі, і в першу чергу обробляти критично важливі. Значна складність полягає в поєднанні малого часу затримки і високої надійності. Для цього потребується переглянути взаємодію елементів сьогоденних систем мобільного широкосмугового доступу, які в основному

націлені на пропускну здатність, покриття і швидкість передачі даних. Для оптимізації мереж і забезпечення малих значень часу затримки слід змінити співвідношення між конструкцією керуючого каналу, кодуванням, адаптивної модуляцією і управлінням радіоресурсами. Там, де необхідно вкрай малий час затримки, потрібно буде впровадити нову технологію, що дозволяє забезпечити більш короткі тимчасові інтервали передачі даних.

Як було сказано вище, в майбутньому ще більш важливу роль буде грати енергоефективність, яка є важливою метою при проектуванні всіх рішень 5G. Скорочення радіусу сот в щільних мережах, а також мінімізація сигнального трафіку при виявленні мережі і синхронізації значно зменшать енергоспоживання в мережах п'ятого покоління.

Технології п'ятого покоління потребують значно ширшого діапазону частот і більш високих несучих з метою підтримки очікуваного приросту трафіку і ще більш високих швидкостей передачі даних, не рахуючи роботи з пошуку нових частотних діапазонів для сучасних систем LTE і HSPA. Наразі необхідні нові частотні діапазони, як в уже активно використовуваних сьогодні, так і в більш високочастотних діапазонах. Перше необхідно для поліпшення якості обслуговування на глобальному рівні, а друге забезпечить більш широкі смуги для надвисокої якості обслуговування в конкретних ситуаціях.

2.2. Технологічні рішення мереж п'ятого покоління

2.2.1. Massive MIMO

Технологія MIMO (Multiple Input Multiple Output) (Рис. 2.1.) полягає у використанні декількох антен на приймальній і передавальній сторонах, дозволяє підвищити пропускну здатність без розширення смуги частот або збільшення потужності сигналу. У даній технології швидкість передачі даних

зростає практично пропорційно кількості антен, при цьому якість сигналу поліпшується за рахунок прийому сигналу відразу декількома антенами.

Для мобільних систем особливий інтерес представляє технологія Multi-User MIMO (MU-MIMO), що дозволяє забезпечувати передачу незалежних потоків даних різним користувачам одночасно.

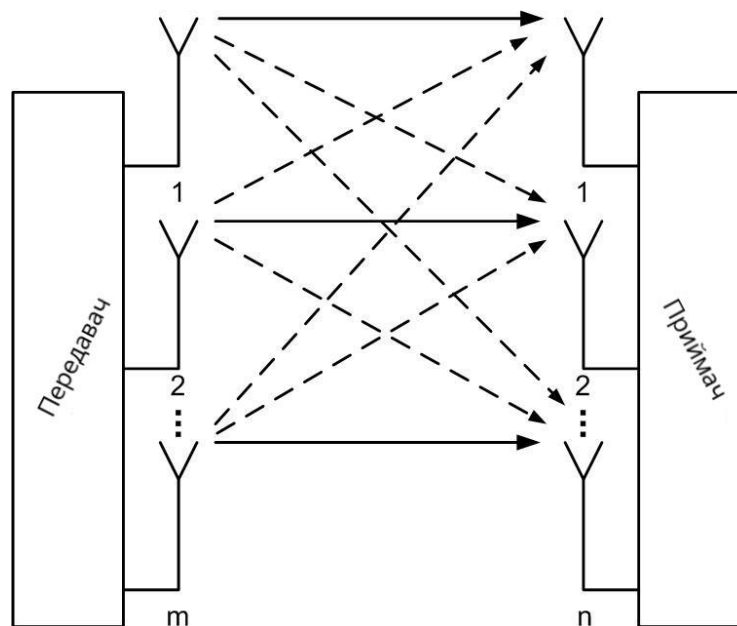


Рис. 2.1. Технологія MIMO

2.2.2. Перехід в сантиметровий та міліметровий діапазони

На сьогоднішній день мережі третього і четвертого покоління працюють в частотних діапазонах менше 3 ГГц. Перехід в більш високі діапазони здійснюється в мережах п'ятого покоління. На дальність зв'язку в міліметровому діапазоні сильно впливає атмосферне згасання, пов'язане з поглинанням енергії радіохвиль молекулами різних речовин, в першу чергу води і кисню. Ця залежність показана на Рис. 2.2.

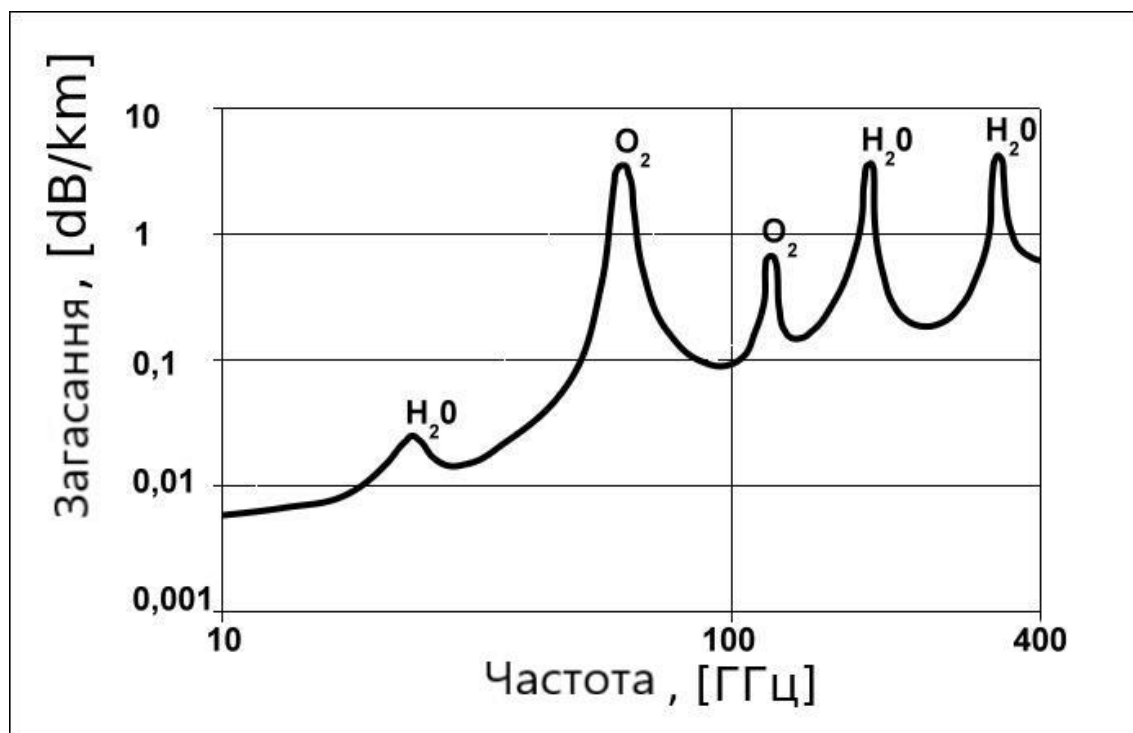


Рис. 2.2. Графік залежності затухання в атмосфері від частоти в діапазоні ВВЧ

Вирішити цю проблему можна підвищуючи потужність передачі, яка обмежена санітарними нормами. Базові станції мереж п'ятого покоління розміщуються щільніше, ніж раніше, що необхідно для створення більшої ємності мережі, а також для вирішення проблеми сильного загасання сигналу в діапазоні міліметрових хвиль.

2.2.3. Мультитехнологічність

Для забезпечення високої якості обслуговування в мережах 5G необхідна підтримка вже існуючих стандартів, таких як GSM, UMTS, LTE, а також Wi-Fi. Базові станції, що працюють за технологією Wi-Fi, можуть використовуватися для розвантаження трафіку в особливо завантажених місцях.

2.2.4. D2D (Device-to-device) та M2M (Machine-to-machine)

Технологія device-to-device дозволяє пристроям, які знаходяться на малій відстані один від одного, здійснювати обмін даними безпосередньо, без участі мережі 5G, через ядро якої буде проходити лише сигнальний трафік.

Міжмашинна взаємодія (M2M) - загальна назва технологій, які дозволяють машинам обмінюватися інформацією один з одним, або ж передавати її в односторонньому порядку. Система M2M складається з декількох елементів: периферійні вузли, комунікаційне обладнання та програмне забезпечення. Периферійні вузли це найчастіше датчики, що визначають стан навколишнього середовища і умови роботи фізичних пристроїв. Після збору детальної інформації вона негайно перетворюється в цифрові сигнали, які передаються потім по мережі. Передачу даних до додатків і інших вузлів забезпечує комунікаційне обладнання. Програмне забезпечення на основі аналізу даних, отриманих від датчиків, приймає рішення і посилає команди пристроям. Використання такої бездротової технології має цілий ряд незаперечних переваг. Застосування M2M-обладнання дозволяє заощадити на прокладанні кабельної інфраструктури і зберегти дорогоцінний час, скоротити кількість обслуговуючого персоналу, зробити роботу ефективнішою і легше керованою.

2.2.5. Використання нових сигнально-кодових конструкцій в мережах 5G

Однією з умов розвитку 5G є підвищення спектральної ефективності переданих сигналів за рахунок застосування нових сигнально-кодових конструкцій на основі неортогональних сигналів і FTN-сигналів, відмінних від OFDM-сигналів, які використовуються в мережах 4G.

2.2.6. Нова архітектура мережі

На думку експертів, мережі 5G мають бути «пристрій-орієнтованими», а не «сота-орієнтованими». Передбачається, що в мережах 5G пристрої будуть одночасно зв'язуватися з декількома сотами, що забезпечить їм надійне з'єднання з мережею.

Зараз мережі радіодоступу складаються з великих (макро-) сот, які забезпечують безперервність покриття / мобільність абонентів, і малих (мікро) сот, які встановлюються в місцях з найбільшою щільністю абонентів (хот-спот) і забезпечують там необхідну додаткову ємність. Розмір макросот, в основному, визначається використанням діапазоном частот. Для радіомереж стандартів 2G / 3G / 4G найчастіше використовуються частоти від 800 до 2600 МГц. Якщо для мереж 5G не будуть задіяні вищі частоти, щільність установки базових станцій, які формують макросоти, не буде потрібно збільшувати. Що стосується мікросот, їх кількість (щільність установки) пропорційна необхідній ємності. Оскільки вимоги до ємності ростуть на порядки від покоління до покоління мобільного зв'язку, то можна очікувати значне зростання необхідної кількості мікросот при впровадженні 5G.

2.3. Архітектура 5G

Ключові принципи архітектури мережі 5G полягають в наступному:

- Поділ мережевих вузлів на елементи, що забезпечують роботу протоколів «площини користувача» (UP - User Plane) і елементи, що забезпечують роботу протоколів «площини управління» (CP - Control Plane), що значно збільшує гнучкість в частині масштабування і розгортання (допускаючи централізоване і децентралізоване розміщення окремих складових мережевих вузлів).

- Поділ мережевих елементів на мережеві слої (Network Slicing), орієнтуючись на послуги, що надаються конкретним групам кінцевих користувачів.
- Реалізація мережевих елементів у вигляді віртуальних мережевих функцій - VNF (Virtual Network Functions).
- Підтримка одночасного доступу до централізованих і локальних служб, що дозволяє реалізовувати концепції хмарних (fog computing) і граничних (edge computing) обчислень.
- Визначення конвергентної архітектури, що об'єднує різні типи мереж доступу (AN - Access Network) - 3GPP (New Radio - NR) і не 3GPP (WiFi та ін.) з єдиною опорною мережею (CN - Core Network).
- Підтримка єдиних алгоритмів і процедур аутентифікації (в незалежності від типу мережі доступу).
- Підтримка мережевих функцій без збереження стану (stateless), де обчислювальний ресурс відділений від ресурсу зберігання.
- Підтримка роумінгу з маршрутизацією трафіку як через домашню мережу (Home routed), так і з локальним приземленням (Local breakout) в гостьовій мережі (VPLMN).

В архітектурі 5G взаємодія між мережевими функціями представлена двома способами:

- сервіс-орієнтоване, коли одні мережеві функції (наприклад, AMF) дозволяють іншим авторизованим мережевим функціям отримувати доступ до їх сервісів.
- частиною інтерфейсу, що показує яка взаємодія існує між сервісами мережевих функцій, описаних як взаємодія точка-точка (наприклад, інтерфейс N11) між будь-якими двома мережевими функціями (наприклад, AMF і SMF).

Мережеві функції на площині управління 5G повинні використовувати тільки сервіс-орієнтовані інтерфейси для їх взаємодії.

2.3.1. Програмні модулі і мережеві функції

Мережа 5G включає в себе наступні основні програмні модулі і мережеві функції (NF):

- функція управління доступом і мобільністю (AMF - Access and Mobility Management Function);
- функція управління сесіями (SMF - Session Management Function);
- функція передачі даних користувачів (UPF - User Plane Function);
- модуль керування даними користувачів (UDM - Unified Data Management);
- уніфікована база даних (UDR - Unified Data Repository);
- система зберігання неструктурованих даних (UDSF - Unstructured Data Storage Function);
- функція вибору мережевого шару (NSSF - Network Slice Selection Function);
- функція управління політиками (PCF - Policy Control Function);
- функція забезпечення взаємодії з зовнішніми додатками (NEF - Network Exposure Function);
- сховище мережевих функцій (NRF - NF Repository Function);
- прикладна функція (AF - Application Function);
- функція підтримки обміну короткими текстовими повідомленнями за допомогою протоколу NAS (SMSF - SMS Function);
- функція взаємодії з не-3GPP мережею доступу (N3IWF - Non-3GPP InterWorking Function);

Архітектура мережі 5G з точки зору сервіс-орієнтованої взаємодії різних мережевих функцій на площині управління показана на Рис. 2.3.

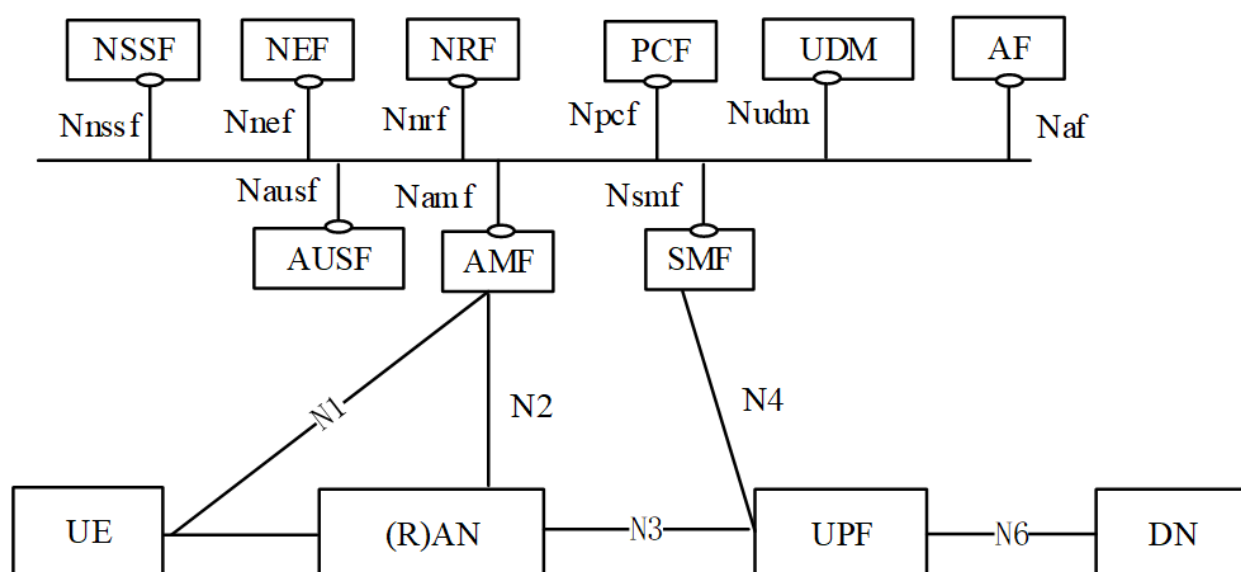


Рис. 2.3. Архітектура мережі 5G з точки зору сервіс-орієнтованої взаємодії різних мережевих функцій на площині управління

2.3.2. CUPS (control and user plane separation)

У відповідності з архітектурою SDN для мереж 5G визначено поділ шлязу пакетної передачі даних на дві складові - площину управління (SMF) і площину користувальницького трафіку (UPF) - control and user planes separation (CUPS). При цьому заради об'єктивності варто зазначити, що концепція CUPS релізом 14 3GPP визначена і для мереж 4G-LTE, де передбачено поділ SGW на C-SGW (control plane) і U-SGW (user plane), а PGW відповідно - на C-PGW і U-PGW.

Спрощення архітектури UPF в порівнянні з PGW мережі 4G-LTE дозволяє знизити як вартість розробки і виробництва самих вузлів, так і витрати на їх експлуатацію. В кінцевому рахунку, це відкриває шлях до "прикордонних обчислень" (edge computing) за рахунок можливості встановлювати на мережі

велику кількість шлюзів, розміщуючи їх в безпосередній близькості до мережі доступу. Однак такий підхід створює проблему мобільності, оскільки переміщення користувача терміналу з активною сесією передачі даних буде супроводжуватися частою зміною UPF. 3GPP вирішує дану проблему шляхом введення нової функціональності - безшовності абонентських сесії та послуг - SSC (Session and Service Continuity).

2.3.3. Network Slicing

Network Slicing передбачає поділ фізичної архітектури 5G на безліч віртуальних мереж або слоїв. Кожен мережевий шар включає в себе функції рівня управління, функції рівня користувальницького трафіку і мережу радіодоступу (5G-NR, або non-3GPP). Базуючись на архітектурі NFV / SDN, кожен слой має свої характеристики і націлений на вирішення тієї чи іншої бізнес-завдання. 3GPP визначає три стандартних мережевих слоїв, які вже були розглянуті нами в першому розділі:

- над-широкопasmовий доступ (eMBB, Enhanced Mobile Broadband) - користувачі глобальної мережі Інтернет, камери відеоспостереження, ...
- ультра-надійність і низькі затримки (URLLC, Ultra Reliable Low Latency Communication) - транспорт без водія, доповнена і віртуальна реальність, ...;
- інтернет речей (IoT, Internet of Things) - мільйони пристроїв, що передають малі обсяги даних від випадку до випадку.

Кожен оператор може визначати додаткові мережеві слої, наприклад, виділений мережевий слой для критичних комунікацій, для внутрішньокорпоративного зв'язку і т.д.

Конкретний термінал (UE) може обслуговуватися одночасно одним або декількома мережевими слоями (максимум - 8-ю). При цьому модуль AMF є загальним для всіх верств, а от інші елементи (в т.ч. SMF, UPF) можуть відрізнятися. Також різні слої можуть включати в себе різні мережі радіодоступу, або єдину мережу, але з відмінними характеристиками. І, як один з бізнес-кейсів, мережеві слої можуть мати відмінні параметри безпеки.

При реєстрації в мережі в рамках процедури встановлення RRC з'єднання (і далі - в повідомленні NAS) термінал (UE) передає список запитуваних мережеслоїв (S-NSSAI - Single Network Slice Selection Assistance Information). На першому кроці, на підставі отриманих від UE даних, списку мережеслоїв, що містяться в UDM профілі користувача і розташування абонента здійснюється вибір елемента AMF, який може забезпечити необхідний набір послуг. Вибір AMF здійснюється із залученням модуля вибору мережевого слою (NSSF) і сховища мережеслоїв (NRF).

На другому кроці призначається модуль управління сесіями (SMF) і далі - шлюз передачі користувальницького трафіку (UPF). Призначення SMF / UPF може відбуватися відповідно до статичних налаштувань, або - динамічно (через сховище мережеслоїв - NRF).

2.3.4. PDU сесії

В архітектурі 5G взаємодія користувальницьких терміналів (UE) з мережами передачі даних (Data Network) здійснюється в рамках PDU сесій (PDU Session-s). UE може мати одночасно кілька створених PDU сесій для зв'язку з різними мережами передачі даних і отримання різних послуг. При цьому різні сесії можуть організовуватися через різні мережеві функції відповідно до концепції Network Slicing. PDU сесії створюються тільки за запитом користувача терміналу. Однак, архітектура 5G дозволяє прикладний

функції (AF) ініціювати на UE процедуру запуску сервісу (Application Triggering). Ініціація зазначеної процедури здійснюється шляхом направлення UE в тілі короткого SMS повідомлення команди "Application trigger message", отримавши яке відповідний додаток, встановлений на призначеному для користувача терміналі, може запросити створення PDU сесії.

На відміну від мереж 4G-LTE в мережах 5G створення сесій повністю контролюється SMF і здійснюється в рамках сигнального діалогу NAS SM між UE і SMF. У процесі свого існування PDU сесія може бути переміщена між 3GPP і non-3GPP технологіями доступу.

Кожна PDU сесія характеризується наступними атрибутами:

- S-NSSAI (Single Network Slice Selection Assistance Information) - фактично тип або ідентифікатор мережевого шару;
- DNN (Data Network Name) - ім'я зовнішньої мережі передачі даних, фактично аналог імені точки доступу мереж 2.5G / 3G / 4G-LTE (APN);
- PDU Session Type - тип PDU сесії;
- SSC mode - режим роботи функції безшовності абонентських сесій і послуг;
- PDU Session Id - унікальний для даного UE ідентифікатор PDU сесії;
- User Plane Security Enforcement information - інформація забезпечення безпеки користувача трафіку, включаючи шифрування і контроль цілісності.

2.4. Архітектура базових станцій gNB

Базові станції gNB, про які піде мова в цьому розділі, формують мережу радіодоступу мобільного зв'язку 5-го покоління (NR Radio Access). Якщо повернутися на 20 років назад, в епоху бурхливого будівництва мереж 2-го

покоління (2G-GSM), то ми побачимо, що конструктивно кожна БС представляла собою велику залізну шафу, висотою 1,5-2 метра, встановлену в кондиційованих приміщеннях "на землі" (вигородці технічного поверху, або металевому контейнері). Від базової станції до антен, розміщених на вежах, стовпах і т.д. прокладалися радіочастотні фідери (перетином 7/8 дюйма або більше - в залежності від протяжності траси).

Близько 10 років тому виробники почали випуск так званих розподілених базових станцій, на основі яких в даний час побудовані мережі мобільного зв'язку 2G-GSM, 3G-UMTS і 4G-LTE більшості операторів зв'язку. Така базова станція включає в себе базовий блок (або BBU - Baseband Unit), як і раніше розміщується "на землі", і кілька радіомодулів (або RRU), що розміщуються поблизу антен стільникового зв'язку. BBU і RRU пов'язані між собою оптичним кабелем, поверх якого реалізується інтерфейс CPRI (Common Public Radio Interface). Радіомодуль здійснює аналого-цифрове / цифро-аналогове перетворення, посилення і фільтрацію сигналу, формування радіочастотного тракту. Весь стек протоколів взаємодії базової станції з призначеним для користувача терміналом і базової станції з ядром мережі, а також алгоритми обробки сигналів реалізуються базовим блоком (BBU). BBU по суті являє собою невеликий сервер, який може бути встановлений або в телекомунікаційній стійці (якщо існує якесь виділене приміщення), або в кліматичній шафі на даху будівлі, або безпосередньо на стовпі / радіощоглі для BBU зовнішнього (outdoor) виконання.

Наступним кроком розвитку архітектури побудови базових станцій стала концепція хмарних BBU або "Cloud BBU", яка полягала у відмові від локальних BBU, що розміщуються безпосередньо на об'єктах БС, і перенесення їх функціональності на віртуалізовані ресурси потужних серверів, розміщених в

центрах обробки даних (ЦОД). Дана концепція за рахунок централізації ресурсів і ефекту "масштабу" дозволяє підвищити надійність і ємність базових станцій, одночасно знизивши витрати на їх експлуатацію. Однак вона не знайшла істотного застосування через високі вимоги до характеристик CPRI каналів:

- допустима затримка (RTT) - 5мкс;
- допустимий рівень бітових помилок - 10^{-12} ;
- стабільність частоти - 0.002ppm
- пропускна здатність для 4G-LTE в смузі 20МГц в залежності від кількості потоків - до 10G (в цьому випадку вимоги до пропускної здатності CPRI для мереж 5G в смузі 400МГц можуть вирости до 400G).

Архітектура базових станцій gNB мережі мобільного зв'язку 5-го покоління, запропонована 3GPP, являє собою подальший розвиток ідеології розподілених базових станцій і "Cloud BBU". gNB включає в себе центральний модуль gNB-CU (gNB Central Unit) і один або кілька розподілених модулів gNB-DUs (gNB Distributed Unit). Варіант проектування базової станції показаний на Рис. 2.4.

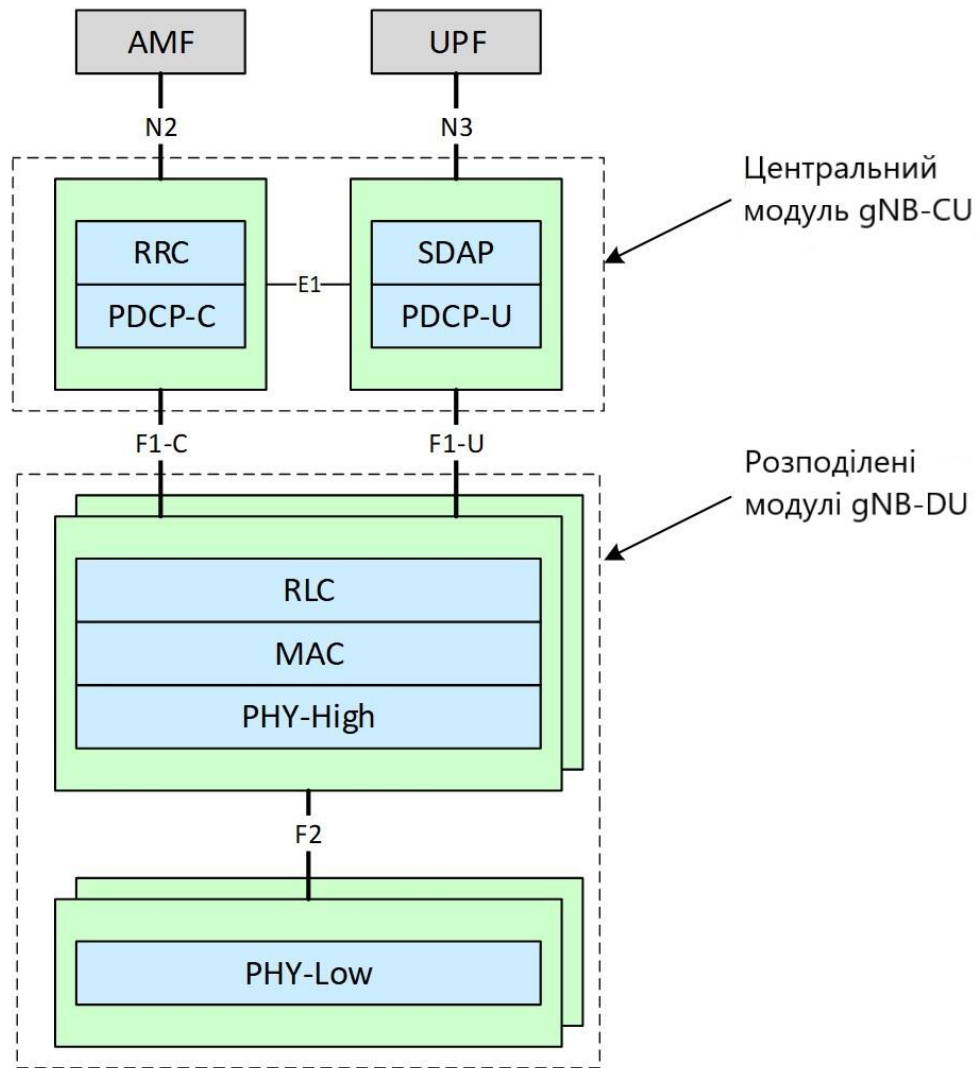


Рис. 2.4. Можливе проєктування базової станції

Очікується, що інтерфейси F1 і F2 будуть стандартизовані 3GPP, що дозволить використовувати gNB-CU і gNB-DU від різних вендорів.

2.5. Інтерфейси базових станцій gNB

3GPP визначає наступні інтерфейси gNB:

- N2 - інтерфейс площини управління між gNB і модулем управління доступом та мобільністю ядра мережі 5GC (AMF). Є розвитком інтерфейсу S1-C мереж 4G-LTE.

- N3 - інтерфейс площини користувальницького трафіку між gNB і модулем передачі користувальницького трафіку ядра мережі 5GC (UPF). Є розвитком інтерфейсу S1-U мереж 4G-LTE.
- Xn - інтерфейс між базовими станціями gNB.
- X2 - інтерфейс між gNB і eNB мережі LTE.

Структури стека протоколів мережі радіодоступу площини користувальницького трафіку (User Plane) і площини управління (Control Plane) показані на Рис. 2.5. і Рис. 2.6. відповідно.

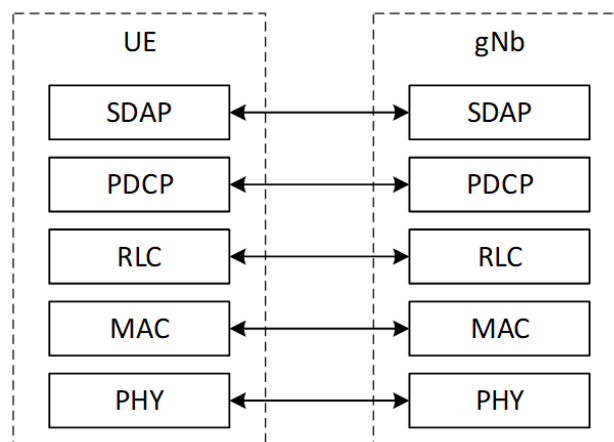


Рис. 2.5. User plane

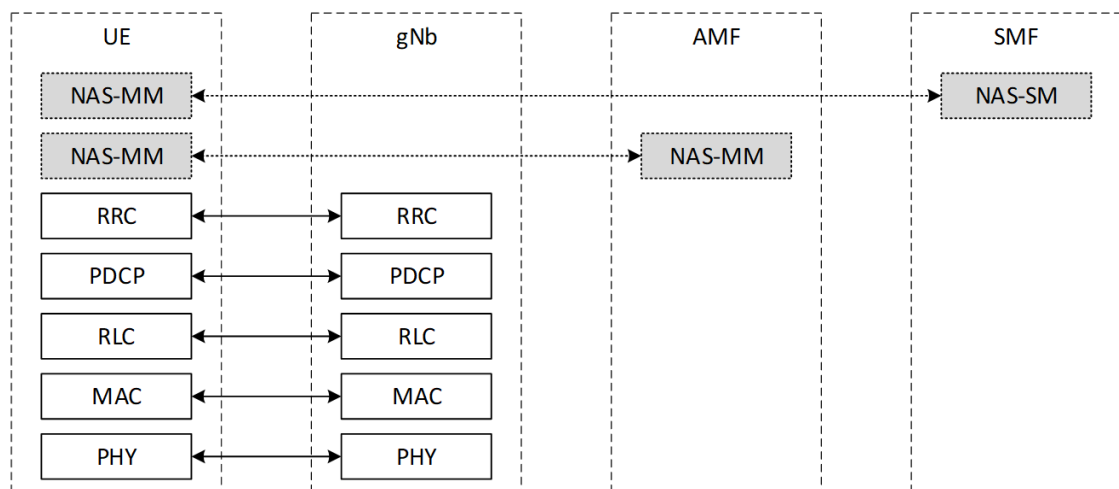


Рис. 2.6. Control plane

Коротко перерахуємо основні функції, які реалізуються на різних рівнях:

1. **RRC (Radio Resource Control)** - протокол управління радіоресурсами.

Основні функції, що реалізуються на рівні RRC:

- передача системної інформації;
- управління RRC з'єднанням (RRC connection control);
- управління механізмами міжтехнологічної мобільності (inter-RAT mobility);
- настройка вимірювань (measurement) і звітності (reporting);
- передача повідомлень сигнального трафіку, який не належить до радіоз'єднання (NAS - Non Access Stratum).

Ключові зміни в порівнянні з рівнем RRC інтерфейсу S1 мереж LTE пов'язані з введенням нового RRC стану (RRC INACTIVE), покликаною мінімізувати сигнальний обмін для окремих класів постійно підключених до мережі пристроїв, а також з реалізацією механізму передачі частини системної інформації (SIB3..n) не в ширококомовних, а в виділених каналах конкретних пристроїв.

2. **SDAP (Service Data Adaptation Protocol)** - є новим рівнем, вперше введеному в 15-му релізі 3GPP. Реалізується в рамках інтерфейсу NG-U мереж, побудованих на базі ядра NGCN при взаємодії з базовими станціями не тільки мереж радіодоступу NR (gNb), але і E-UTRAN (ng-eNb).

Забезпечує реалізацію фреймворка архітектури управління якістю (QoS), включаючи:

- маркування висхідних та нисхідних пакетів даних відповідними параметрами QFI (QoS Flow ID);
- мапінг між потоками даних з відповідними параметрами QoS і віртуальними каналами (DRB - data radio bearer).

При цьому на стороні користувача терміналу (UE) в UL каналі можливі дві схеми маппінга - явна, при якій пакети маршрутизуються в той чи інший віртуальний канал (DRB) на підставі QFI, або дзеркальна, при якій UE здійснює маппінг UL пакетів за результатами аналізу параметрів відповідних пакетів DK каналу.

3. PDCP (Packet Data Convergence Protocol)

Основні функції, що реалізуються на рівні PDCP:

- передача даних користувача і даних площині управління;
- нумерація пакетів даних;
- шифрування і контроль цілісності даних;
- відновлення порядку проходження пакетів даних, видалення дублікатів;
- дублювання пакетів даних з метою підвищення надійності передачі;
- маршрутизація пакетів "розщеплених" віртуальних каналів (split bearer) в режимі dual connectivity (тільки для пакетів призначених для користувача даних);
- стиснення заголовків протоколів верхнього рівня відповідно до методу ROHC - Robust Header Compression (тільки для пакетів призначених для користувача даних);
- видалення пакетів даних після закінчення таймера discardTimer (тільки для пакетів призначених для користувача даних).

Ключові зміни в порівнянні з рівнем PDCP інтерфейсу S1 мереж LTE полягають в наступному:

перенесення з рівня RLC на рівень PDCP функції відновлення порядку проходження пакетів даних, що з одного боку спрощує реалізацію механізму розщеплення віртуальних каналів (split bearer) в режимі Dual Connectivity з

іншого - дозволяє на більш ранній фазі виконувати операції дешифрування і контролю цілісності пакетів даних, що надходять з мережі з порушенням послідовності, що в окремих кейсах може зменшити величину затримки, а також реалізація можливості дублювання даних на PDCP рівні в рамках концепції подвійного підключення (Dual Connectivity).

4. RLC (Radio Link Control)

RLC може функціонувати в одному з трьох режимів:

- прозорий режим передачі (transparent mode, TM);
- передача без підтвердження (unacknowledged mode, UM);
- передача з підтвердженням (acknowledged mode, AM).

Основні функції, що реалізуються на рівні RLC:

- передача пакетів, які формуються вищерозміщеним рівнем (PDCP PDU);
- незалежна від рівня PDCP нумерація пакетів даних;
- сегментація і де-сегментація пакетів даних (тільки в режимах AM і UM);
- виявлення і корекція помилок передачі RLC PDU методом автоматичного запиту повторної передачі - ARQ (тільки в режимі AM);
- виявлення дублюючих RLC PDU (тільки в режимі AM);
- видалення пакетів даних за запитом вищележачого PDCP рівня - RLC SDU discard (тільки в режимах AM і TM).

При цьому функцію сегментації / де-сегментації умовно відносять до підрівня Low-RLC, інші - до High-RLC.

5. MAC (Medium Access Control)

Основні функції, що реалізуються на рівні MAC:

- маппінг між логічними і транспортними каналами;
- мультиплексування MAC SDU, що належать одному або кільком логічним каналам, в транспортні блоки (TB), що передаються на фізичний рівень;
- демультиплексування MAC-PDU, отриманих в транспортних блоках від фізичного рівня;
- динамічний розподіл ресурсів з урахуванням пріоритетів користувальницьких терміналів (UE) і логічних каналів, а також звітів про інтерференцію - функції менеджера розкладів (scheduler);
- виявлення і корекцію помилок передачі MAC PDU методом гібридного автоматичного запиту повторної передачі - HARQ.

6. Фізичний рівень

На фізичному рівні виконуються наступні функції:

- Вирахування CRC
- Канальне кодування (channel coding)
- Вирівнювання швидкості (rate matching)
- Модуляція та демодуляція
- Розподіл по потокам (layers mapping)
- Розподілення по ресурсним елементам (RE mapping)
- Вставка та видалення циклічного префіксу (CP)
- Об'єднання даних із ресурсних елементів (RE demapping)
- Об'єднання даних із декількох потоків (layers demapping)
- Канальне декодування (channel de-coding)

Висновки:

Мережі мобільного зв'язку п'ятого покоління мають і свої проблеми та недоліки, вирішення яких також є великим завданням при проектуванні та розгортанні 5G мереж. Для цього використовується ряд технологій, що дозволяють досягти високих показників при передачі даних. Архітектура базових станцій gNB мережі мобільного зв'язку п'ятого покоління, пропонована 3GPP, являє собою подальший розвиток ідеології розподілених базових станцій і "Cloud BBU" і має декілька рівнів та інтерфейсів. Фізична архітектура 5G може бути поділена на віртуальні мережі або слої, що включають в себе різні функції та мають відмінні одна від одної характеристики. Загалом, архітектура мереж п'ятого покоління робить великий крок в майбутнє та ґрунтується на нових технологіях.

РОЗДІЛ 3.

ПЕРЕХІД ВІД 4G ДО 5G

3.1. Сценарії міграції від LTE до 5G

Найбільш затребувана операторами зв'язку стратегія розгортання 5G буде мабуть полягати в тривалому спільному існуванні мереж 4-го і 5-го поколінь при максимальному перевикористанні інфраструктури, вузлів і мережевих елементів. Це дозволить операторам модернізувати свої мережі не революційно, а поступально (еволюційно), з одного боку зберігаючи інвестиції в будівництво мереж LTE і широку зону радіопокриття мереж LTE, з іншого - надавати клієнтам нові, що базуються на 5G послуги в тих зонах, де ці послуги користуються попитом .

З метою реалізації даної стратегії 3GPP запропонував кілька можливих сценаріїв (або опцій) впровадження 4G (LTE) і 5G (NR). Всі опції розділені на дві основні групи:

1. Standalone (SA) - передбачають використання тільки однієї технології радіодоступу (LTE або NR - New Radio);
2. Non-Standalone (NSA) - використання і LTE і NR, що спрощує розгортання мереж 5G на початковому етапі.

Для розгортання 5G за сценарієм Non-Standalone необхідна модернізація базових станцій мережі 4G-LTE до рівня eLTE (або enhanced LTE) з метою підтримки розширеного функціоналу взаємодії з базовими станціями 5G (gNb). Стандартизація даного сценарію (в рамках релізу 15 3GPP) була завершена в січні 2018 р.

Важливим аспектом для реалізації Non-Standalone опцій є концепція подвійного підключення (Dual Connectivity), специфіковані 3GPP в релізі 12, і має на увазі підключення користувальницьких терміналів (UE) в стані RRC_CONNECTED одночасно до двох базових станцій (Master eNb і Secondary eNb). Ключова відмінність Dual Connectivity від агрегації частот полягає саме в підключенні до двох різних базових станцій, пов'язаних за допомогою X2 інтерфейсу, і знаходяться в загальному випадку на різних сайтах.

При цьому можливі дві схеми реалізації:

1. split bearer - в цій схемі на PDCP рівні потік призначених для користувача даних (user plane) віртуального каналу розщеплюється на два підпотоків в напрямку Master eNb і Secondary eNb відповідно;
2. switch bearer - в цій схемі потік призначених для користувача даних (user plane) може комутуватися або в напрямку Master eNb, або в напрямку Secondary eNb (без агрегації).

Реалізація Non-Standalone накладає додаткові вимоги до складності користувальницьких терміналів (UE), включаючи забезпечення одночасної роботи двох модемів, збільшений розмір буфера прийому і додаткове навантаження на процесорні ресурси рівня PDCP для відновлення порядку проходження пакетів (в разі режиму MCG split bearer). Також потрібно відзначити, що для опцій 3, 4, 7, 8 вноситься додаткова затримка в передачу пакетів для користувача трафіку за рахунок використання інтерфейсу Xx.

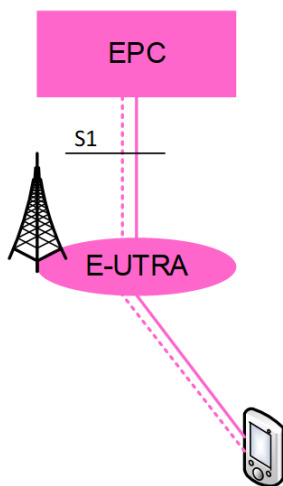
Далі розглянемо всі визначені 3GPP опції.

3.2. Опції співіснування 4G та 5G

Таблиця 3.1.
Опції співіснування 4G та 5G

	Опції											
	1	5	2	6	3	3a	8	8a	4	4a	7	7a
	SA				NSA							
Тип радіодоступу	E-UTRAN		NR		E-UTRAN, NR							
Тип ядра мережі	EPC	NGCN	NGCN	EPC	EPC				NGCN			
Інтерфейс RAN - CN	S1	NG	NG	S1	S1				NG			
eNb → ng-eNb	Hi	Так	-	-	Hi				Так			
Обробка Control Plane	E-UTRA		NR		E-UTRA		NR		NR		E-UTRA	
Розщеплення трафіку	-	-	-	-	eNb	EPC	gNb	EPC	gNb	EPC	eNb	EPC

Option 1 (рис.3.1.) - являє собою реалізацію класичної виділеної мережі LTE на базі ядра EPC і базових станцій eNb (відповідно до 14-м або більш ранніми релізами 3GPP). Використовується в географічних зонах, де 5G сервіси не затребувані.



— User Plane (UP) - використовується ядро мережі LTE
 - - - Control Plane (CP) (EPC);

- термінал (UE) має підключення тільки до мережі радіодоступу E-UTRA.

Рис. 3.1. Option 1

Option 2 (рис.3.2.) - являє собою цільову фінальну архітектуру виділеної мережі 5G на базі ядра мережі NGCN і базових станцій gNb. Використовується в географічних зонах, де мережі LTE відсутні і їх будівництво недоцільно.

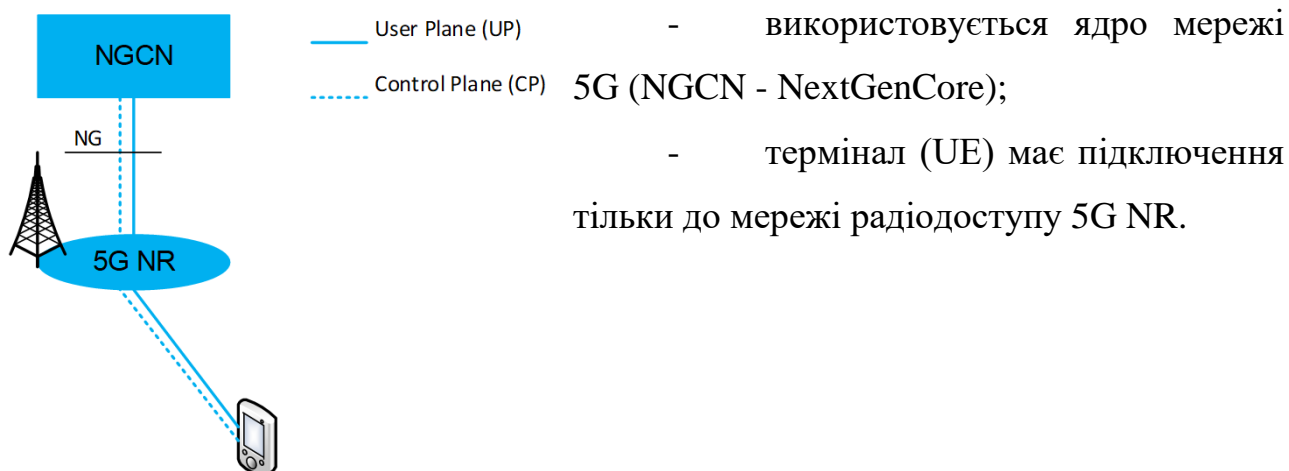


Рис. 3.2. Option 2

Option 3/3a (рис.3.3.-3.4.) - актуальна на ранніх етапах будівництва 5G (у вигляді точкового радіопокриття) в географічних зонах, де вже розгорнуті мережі 4G-LTE. Не потребує впровадження ядра NGCN (використовується ядро мережі LTE - EPC). Базується на технології подвійного підключення. Як інтерфейс, що зв'язує мережі радіодоступу E-UTRA / NR і EPC, і переносить користувача (User Plane) і сигнальний (Control Plane) трафік використовується S1. Якірною точкою для термінації S1-MME є базові станції мережі радіодоступу E-UTRAN (eNb).

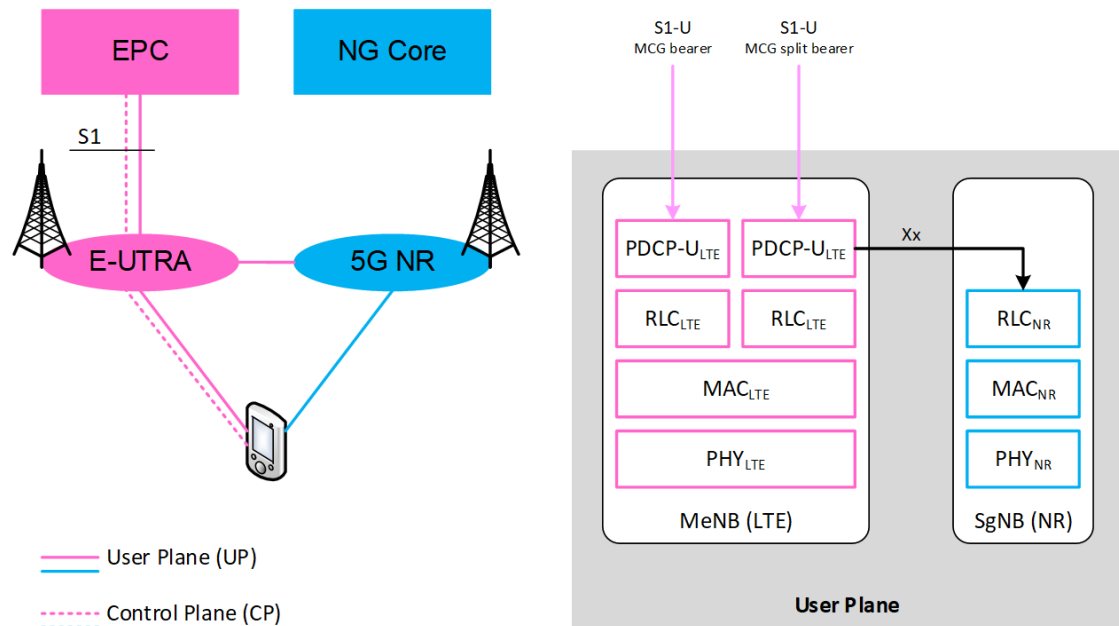


Рис 3.3. Option 3

- використовується ядро мережі LTE (EPC);
- термінал (UE) має подвійне підключення до 5G NR і E-UTRA;
- сигнальний трафік (Control Plane - CP) обробляється виключно на eNb;
- точкою розщеплення призначеного для користувача трафіку (User Plane - UP split bearer) є eNb;
- призначений для користувача трафік передається по двох маршрутах: EPC \leftrightarrow eNb \leftrightarrow UE та EPC \leftrightarrow eNb \leftrightarrow gNb \leftrightarrow UE;
- інтерфейс Xx використовується для перенесення трафіку Control Plane і 5G User Plane.

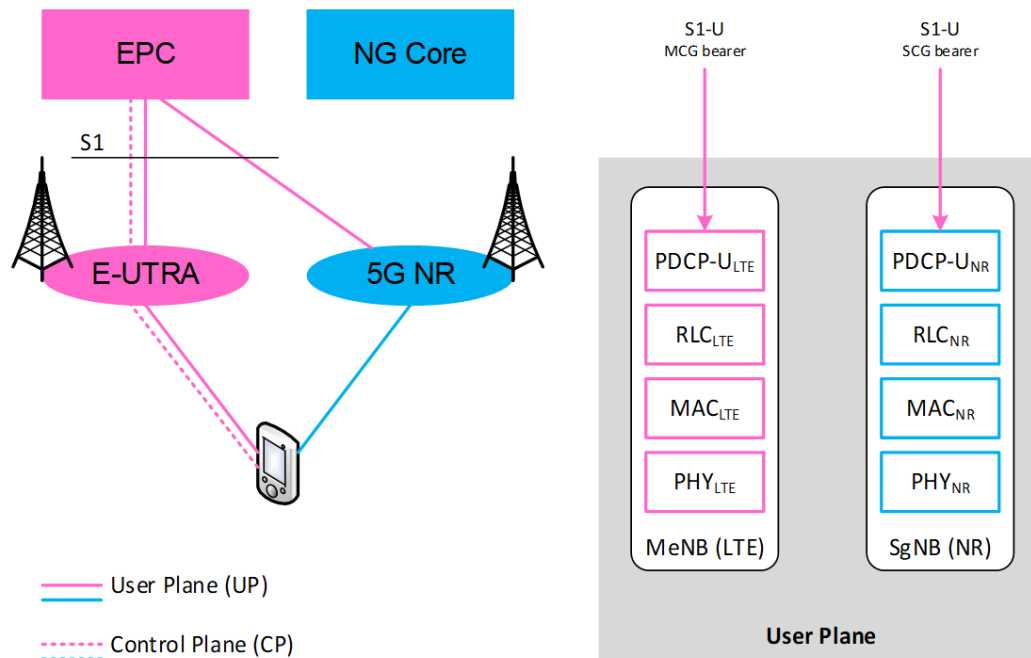


Рис. 3.4. Option 3a

- використовується ядро мережі LTE (EPC);
- термінал (UE) має подвійне підключення до 5G NR і E-UTRA;
- сигнальний трафік (Control Plane - CP) обробляється виключно на eNb;
- точкою розщеплення призначеного для користувача трафіку (User Plane - UP split bearer) є EPC;
- призначений для користувача трафік передається по двох маршрутах: EPC ⇔ eNb ⇔ UE та EPC ⇔ gNb ⇔ UE;
- інтерфейс Xx використовується для перенесення трафіку тільки Control Plane.

Option 4/4a (рис.3.5.-3.6.) - являє собою цільову фінальну архітектуру комбінованої мережі 5G / LTE. Використовується технологія подвійного підключення. Вимагає впровадження ядра NGCN і модернізації базових станцій мережі LTE до ng-eNb. Базується на технології подвійного підключення. Як інтерфейс, що зв'язує мережі радіодоступу E-UTRA / NR і NGCN, і переносить

користувача (User Plane) і сигнальний (Control Plane) трафік використовується NG. Якірної точкою для термінації NG-C є базові станції мережі радіодоступу NR (gNb).

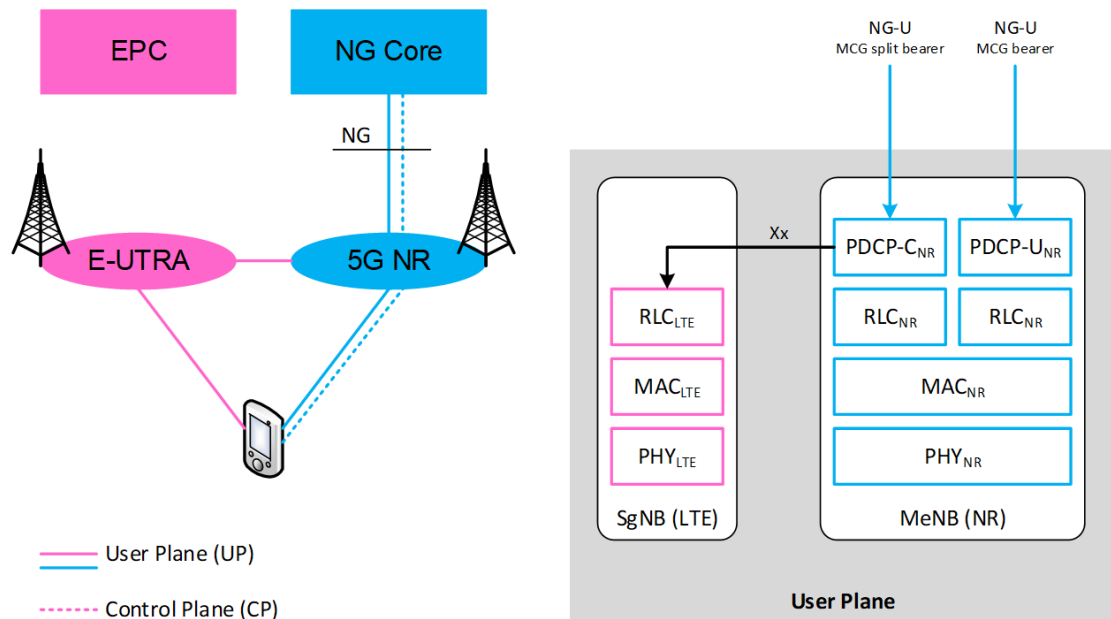


Рис. 3.5. Option 4

- використовується ядро мережі 5G (NGCN);
- термінал (UE) має подвійне підключення до 5G NR і E-UTRA;
- сигнальний трафік (Control Plane - CP) обробляється виключно на gNb;
- точкою розщеплення призначеного для користувача трафіку (User Plane - UP split bearer) є gNb;
- призначений для користувача трафік передається по двох маршрутах: NGCN ⇔ gNb ⇔ UE та NGCN ⇔ gNb ⇔ eNb ⇔ UE;
- інтерфейс Xx використовується для перенесення трафіку Control Plane і LTE User Plane.

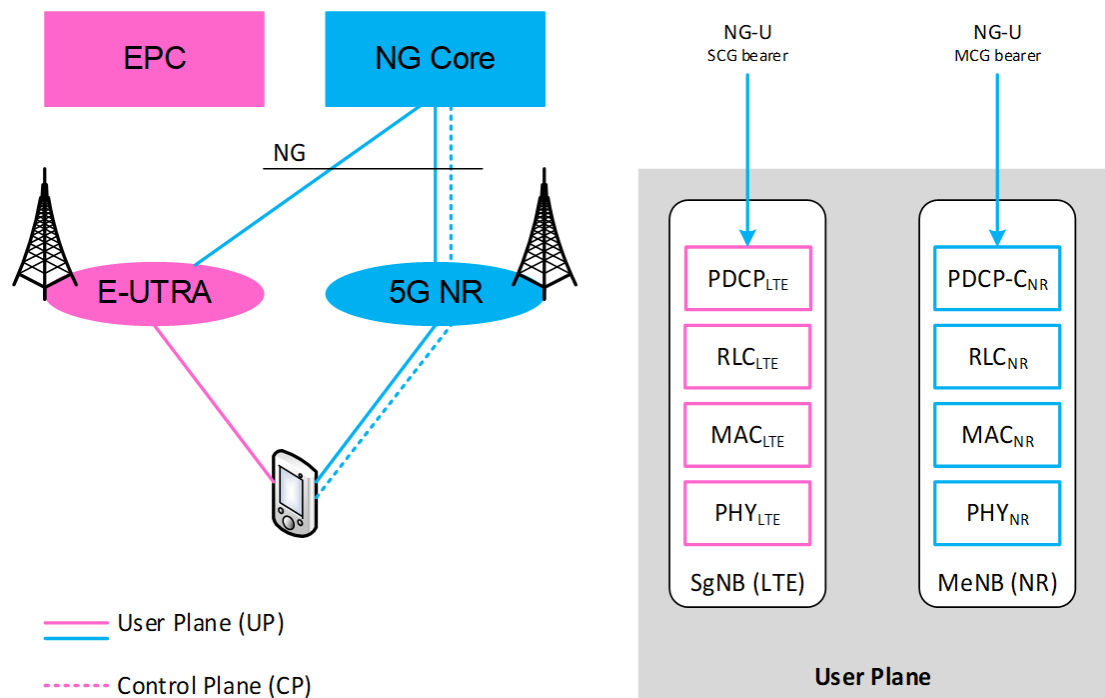


Рис. 3.6. Option 4a

- використовується ядро мережі 5G (NGCN);
- термінал (UE) має подвійне підключення до 5G NR і E-UTRA;
- сигнальний трафік (Control Plane - CP) обробляється виключно на gNb;
- точкою розщеплення призначеного для користувача трафіку (User Plane - UP split bearer) є NGCN;
- призначений для користувача трафік передається по двох маршрутах: NGCN ⇔ gNb ⇔ UE та NGCN ⇔ eNb ⇔ UE;
- інтерфейс Xx використовується для перенесення трафіку тільки Control Plane.

Option 5 (рис.3.7.) - актуальна при новому будівництві виділеної мережі LTE (greenfield) з можливістю подальшої модернізації до комбінованої мережі

5G / LTE (Option 4/4a). Використовується ядро NGCN і модернізовані базові станції мережі радіодоступу E-UTRAN ng-eNb.

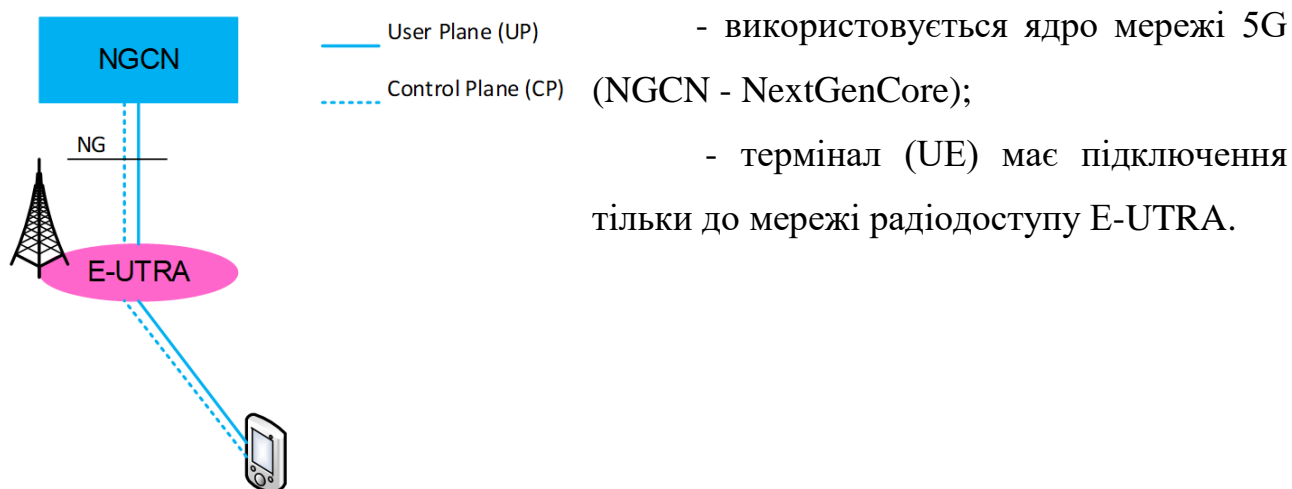


Рис. 3.7. Option 5

Option 6 (рис.3.8.) - може використовуватися при будівництві виділеної мережі 5G, але на базі існуючого ядра мережі LTE (EPC), наприклад, при розгортанні тестових зон, або як проміжний етап на шляху до цільової архітектури 5G в географічних зонах, де мережі LTE відсутні і їх будівництво недоцільно (Option 2).

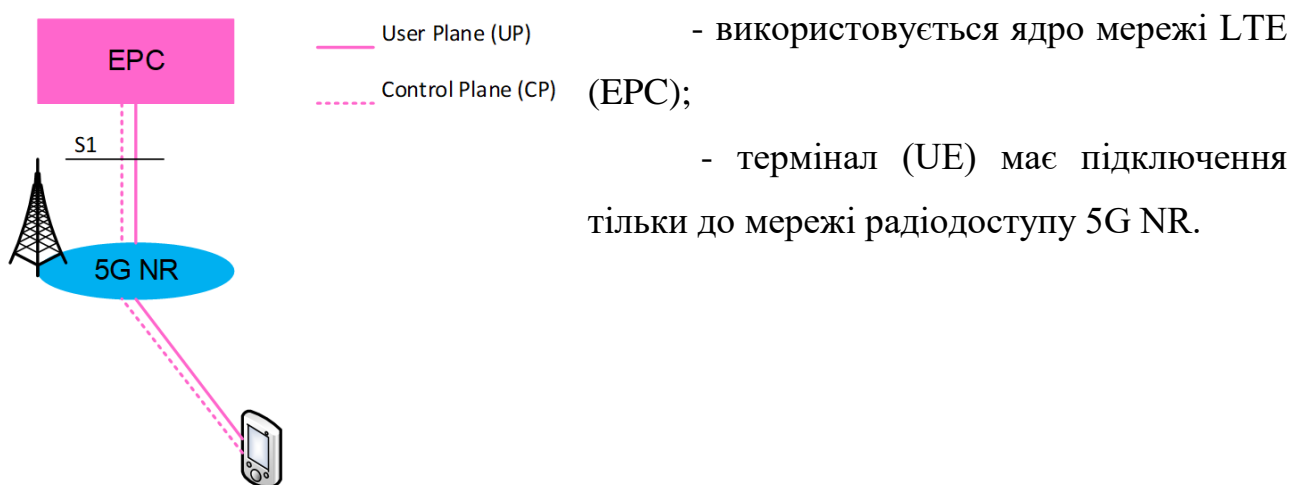


Рис. 3.8. Option 6

Option 7/7a (рис.3.9.-3.10.) - може використовуватися як проміжний етап на шляху до цільової архітектури 5G / LTE Option 4/4a, на відміну від якої яскравою точкою для термінації NG-C є базові станції мережі радіодоступу E-UTRAN (eNb).

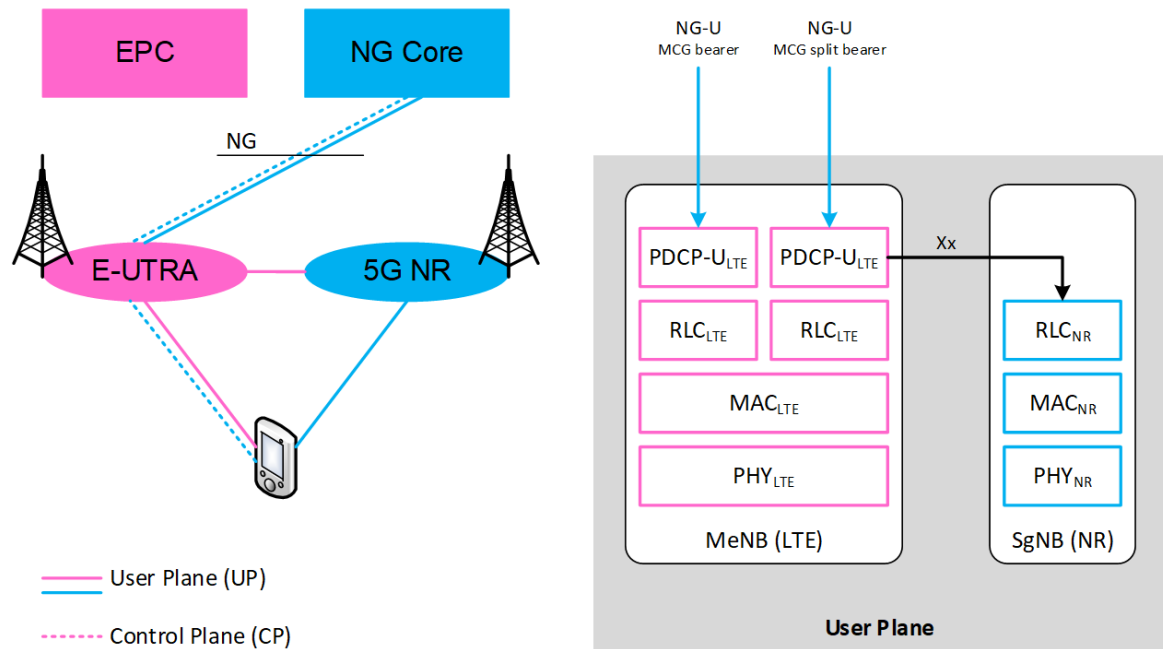


Рис. 3.9. Option 7

- використовується ядро мережі 5G (NGCN - NextGenCore);
- термінал (UE) має подвійне підключення до 5G NR і E-UTRA;
- сигнальний трафік (Control Plane - CP) обробляється виключно на eNb;
- точкою розщеплення призначеного для користувача трафіку (User Plane - UP split bearer) є eNb;
- призначений для користувача трафік передається по двох маршрутах: NGCN ⇔ eNb ⇔ UE та NGCN ⇔ eNb ⇔ gNb ⇔ UE;
- інтерфейс Xx використовується для перенесення трафіку Control Plane і 5G User Plane.

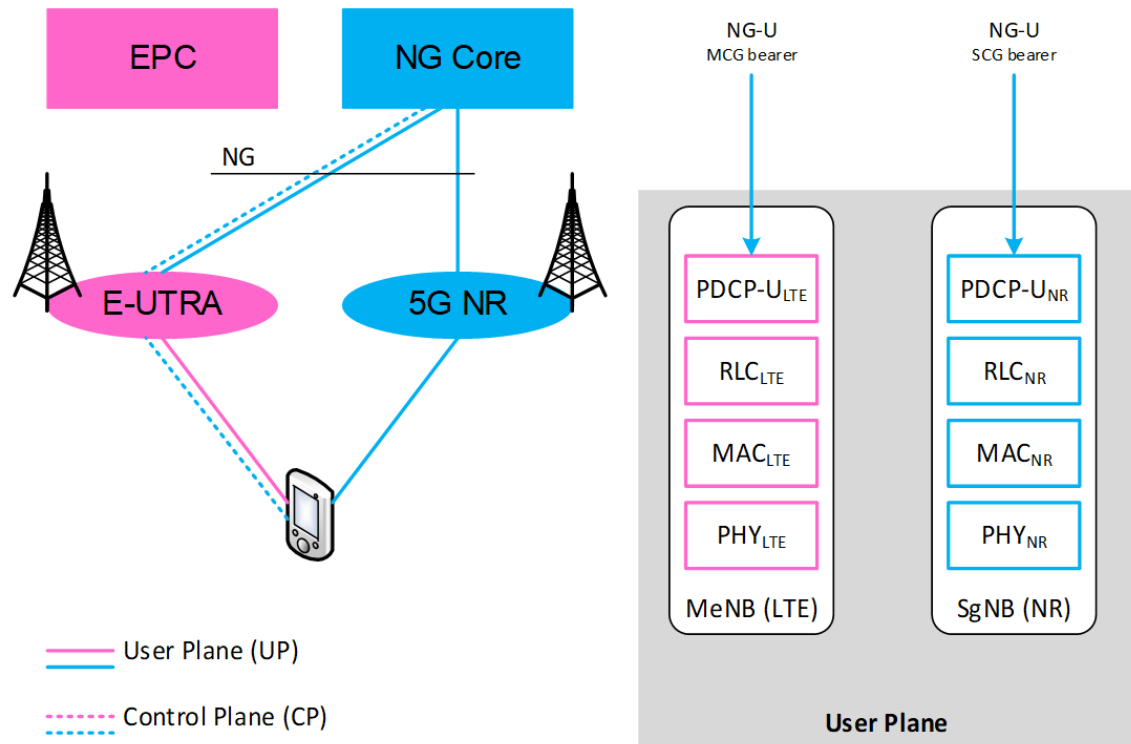


Рис. 3.10. Option 7a

- використовується ядро мережі 5G (NGCN - NextGenCore);
- термінал (UE) має подвійне підключення до 5G NR і E-UTRA;
- сигнальний трафік (Control Plane - CP) обробляється виключно на eNb;
- точкою розщеплення призначеного для користувача трафіку (User Plane - UP split bearer) є EPC;
- призначений для користувача трафік передається по двох маршрутах: NGCN ⇔ eNb ⇔ UE та NGCN ⇔ gNb ⇔ UE;
- інтерфейс Xx використовується для перенесення трафіку тільки Control Plane.

Option 8/8a (рис.3.11.-3.12.) - може використовуватися як проміжний етап на шляху до цільової архітектури 5G / LTE від Option 3/3a до Option 4/4a. На

відміну від Option 3/3a якірної точкою для термінації S1-MME є базові станції мережі радіодоступу NR (gNb).

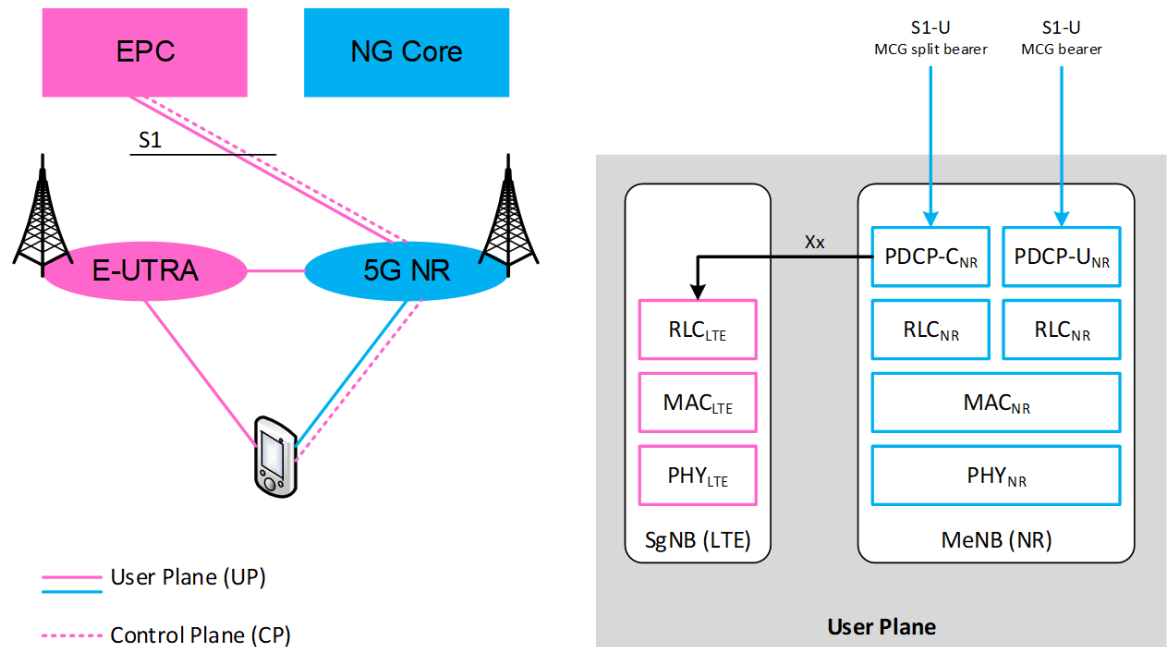


Рис. 3.11. Option 8

- використовується ядро мережі LTE (EPC);
- термінал (UE) має подвійне підключення до 5G NR і E-UTRA;
- сигнальний трафік (Control Plane - CP) обробляється виключно на gNb;
- точкою розщеплення призначеного для користувача трафіку (User Plane - UP split bearer) є gNb;
- призначений для користувача трафік передається по двох маршрутах: EPC ⇌ gNb ⇌ UE та EPC ⇌ gNb ⇌ eNb ⇌ UE;
- інтерфейс Xx використовується для перенесення трафіку Control Plane і LTE User Plane.

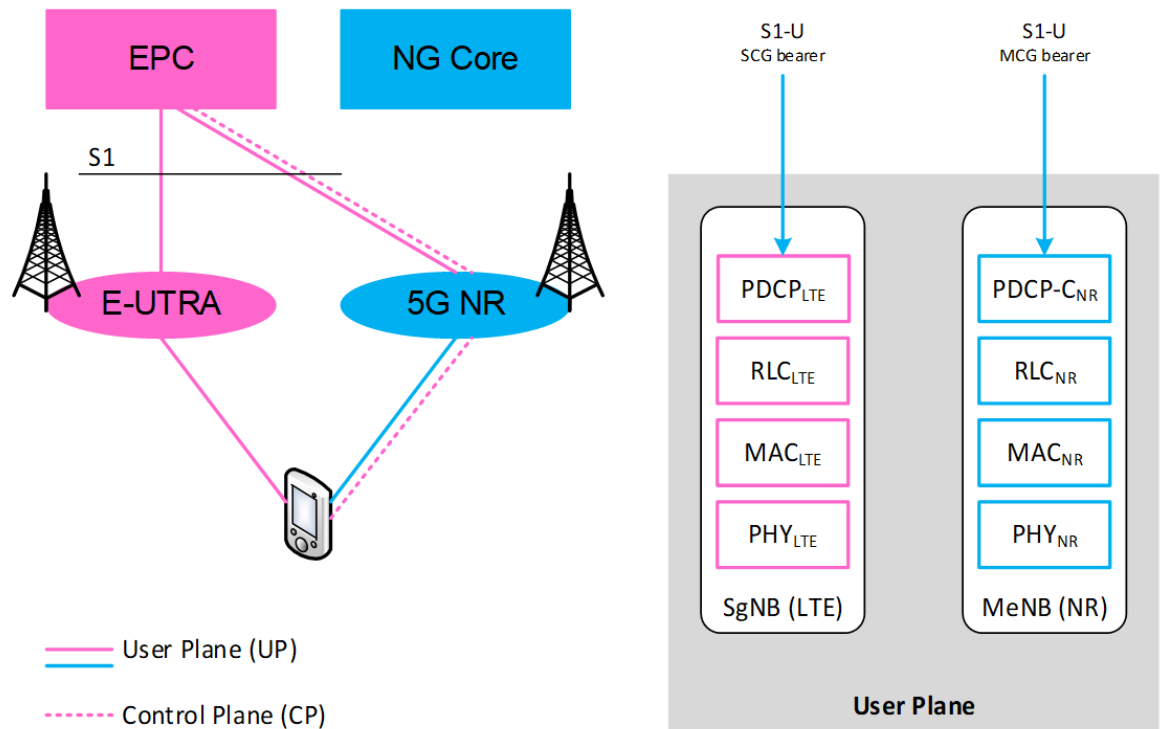


Рис. 3.12. Option 8a

- використовується ядро мережі LTE (EPC);
- термінал (UE) має подвійне підключення до 5G NR і E-UTRA;
- сигнальний трафік (Control Plane - CP) обробляється виключно на gNb;
- точкою розщеплення призначеного для користувача трафіку (User Plane - UP split bearer) є EPC;
- призначений для користувача трафік передається по двох маршрутах: EPC ↔ gNb ↔ UE и EPC ↔ eNb ↔ UE;
- інтерфейс Xx використовується для перенесення трафіку тільки Control Plane.

3.3. Вибір сценарію міграції

На даний момент багато розвинених країн світу вже мають 4G покриття по всій, або майже по всій території країни. В Україні ситуація гірша, тому що великі території залишаються непокритими навіть мережами третього покоління, втім на це є свої технічні та економічні причини. Тим не менш, усі великі міста мають 4G покриття від основних українських операторів мобільного зв'язку, і саме великі мегаполіси є першими кандидатами для впровадження нових технологій мобільного зв'язку п'ятого покоління, тому що саме в них є великі скупення людей, є необхідність вищої швидкості мобільного інтернету та більшої пропускну здатності, можливості одночасно надавати послуги великій кількості людей та з'єднувати величезну кількість різноманітних пристроїв, є бажання розвивати можливості Інтернету Речей для впровадження ідей «розумного» міста, автоматизації багатьох процесів. Першими кандидатами для створення покриття 5G є стадіони, великі торгові центри, тощо.

З огляду на наявність повністю розгорнутих та функціонуючих мереж четвертого покоління, найкращим рішенням буде використати їх на перших етапах впровадження нової технології 5G. В будь-якому випадку, ці технології будуть вимушені співіснувати дуже тривалий час, тому потрібно зробити їх взаємодію якомога ефективнішою та непомітною для звичайного користувача. Поступове впровадження дозволить операторам модернізувати свої мережі поступово, без поспіху, зберігаючи широке покриття 4G та при цьому пропонувати клієнтам, які в цьому зацікавлені, нові можливості, що приходять із технологією нового покоління.

Тому використання сценарію Non-Standalone (NSA) є найбільш оптимальним для операторів та їх клієнтів.

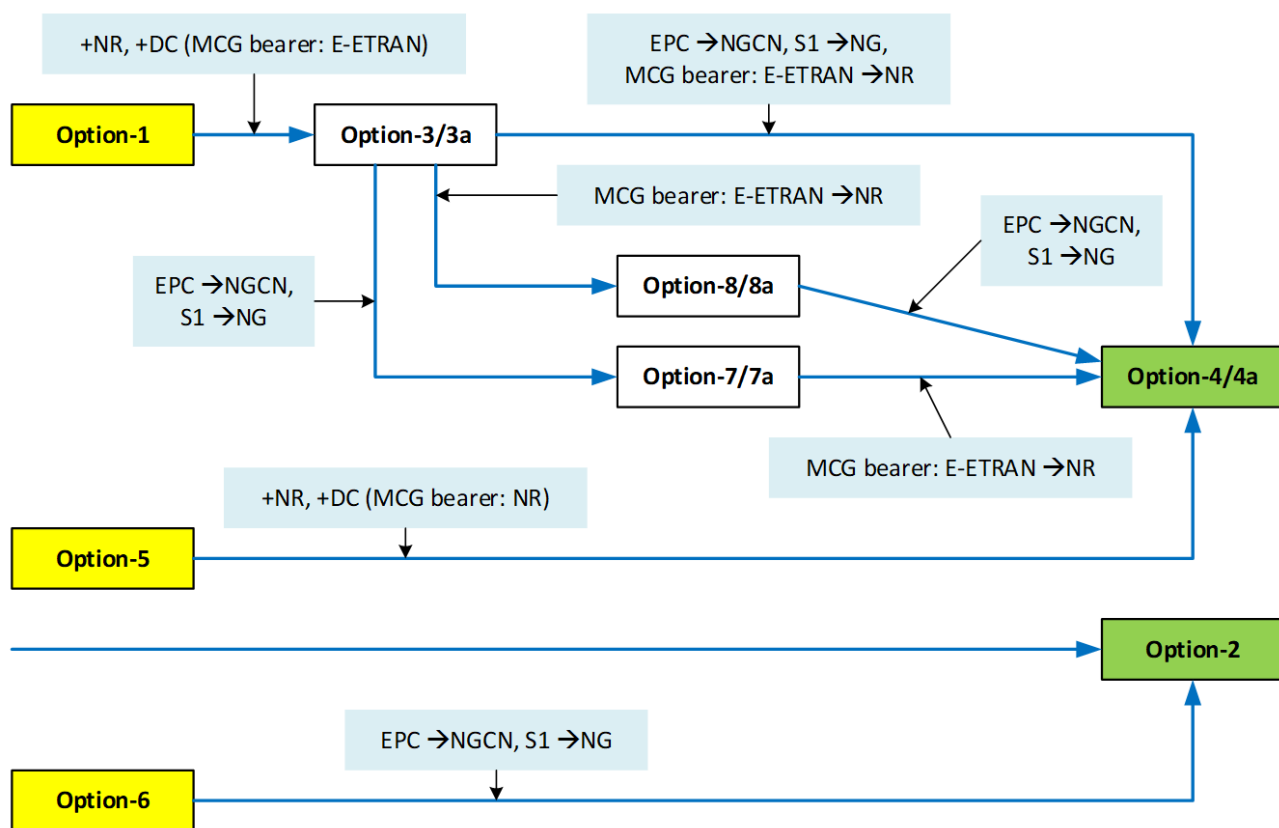


Рис. 3.13. сценарії міграції

Сценарій переходу Option 1 → Option 3/3a → Option 7/7a або Option 8/8a → Option 4/4a, що зображений на Рис. 3.13. є найбільш оптимальним та більш простим задля поєднання можливостей четвертого та п'ятого поколінь, він дозволяє залишити в експлуатації широку мережу 4G, при цьому поступово впроваджуючи можливості п'ятого покоління та дозволяє співіснувати двом технологіям комфортно для користувачів, розширюючи можливості використання високошвидкісного мобільного інтернету. Першим помітним розширенням стане надширокосмуговий мобільний зв'язок(eMBB), що збільшить пропускну здатність до 10Mbps на квадратний метр у зонах гарячої точки, швидкість передачі даних до 1 Гбіт / с, з піковими швидкостями передачі даних у десятках Гбіт / с та 4. Щільність підключення до одного мільйона з'єднань на квадратний кілометр. Раннє використання можливостей eMBB

зосереджується на споживчому ринку та необхідності кращого та швидшого підключення для обробки високоякісного відеоконтенту, збільшення кількості контенту, створеного користувачем, та наших очікувань можливості передавати те, що ми хочемо, куди хочемо та коли хочемо.

Option 4/4a стане фінальною архітектурою комбінованої мережі 5G/LTE.

Висновки:

Найбільш затребувана операторами зв'язку стратегія розгортання 5G буде мабуть полягати в тривалому спільному існуванні мереж 4-го і 5-го поколінь при максимальному перевикористанні інфраструктури, вузлів і мережевих елементів. З огляду на це, усі сценарії впровадження 5G розділені на дві основні опції: Standalone (SA) та Non-Standalone (NSA), що передбачають відповідно використання тільки однієї технології, або сумісне існування двох поколінь, що спрощує розгортання мереж 5G на початковому етапі.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

5G – це справді революційна технологія в сфері мобільних послуг, що здатна забезпечувати дуже велику кількість користувачів та пристроїв високошвидкісним мобільним підключенням з вкрай малими затримками, що дозволить багатьом галузям нашого життя зробити якісний стрибок в напрямку автоматизації виробництва, створення «розумних» міст з використанням технологій Інтернету Речей. Мережі нового покоління нададуть значно більше можливостей за своїх попередників, але вони мають і свої проблеми та недоліки, виправити які, а також надати можливість досягти високих показників швидкості, пропускної здатності, дуже малої затримки, а також підтримки великої кількості одночасно підключених девайсів та користувачів покликані сучасні технології та рішення, такі як Massive MIMO, безпосередня взаємодія пристроїв один з одним, перехід в сантиметровий та міліметровий діапазони та інші. Задля поступового розгортання та впровадження мереж п'ятого покоління та з огляду на неминуче існування мереж 4G протягом тривалого часу, доцільно використовувати існуючі мережі попередніх поколінь, що дозволить довгий час співіснувати декільком поколінням мобільних технологій. Це дозволить використовувати широке покриття 4G та при цьому надавати нові можливості зацікавленим користувачам разом з поступовим впровадженням мереж нового типу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Jackson Cyrus. The 5G Network Architecture
2. Zhang L., Zhao G., Imran M.A. (eds.) Internet of Things and Sensors Networks in 5G Wireless Communications
3. Launay Frédéric, Perez André. LTE Advanced Pro: Towards the 5G Mobile Network
4. Ge Xiaohu, Zhang Wuxiong. 5G Green Mobile Communication Networks
5. Yang Yang, Xu Jing, Shi Guang, Wang Cheng-Xiang. 5G Wireless Systems: Simulation and Evaluation Techniques
6. Лохвицкий М.С., Сорокин А.С., Шорин А.А. Мобильная связь. Стандарты, структуры, алгоритмы, планирование
7. А. Н. Степутин, А. Д. Николаев. Мобильная связь на пути к 6G
8. Большие данные: архитектура сети и технологии 5G. URL: <https://wireless-e.ru/gsm/5g/big-data-5g/>
9. Что такое 5G, и как сети пятого поколения изменят нашу жизнь. URL: <https://msk.tele2.ru/journal/article/what-is-5G>
10. Интернет вещей и 5G. <https://habr.com/ru/company/unet/blog/336936/>
11. 5G Пятое поколение мобильной связи. URL: [http://www.tadviser.ru//index.php/Статья:5G_\(пятое_поколение_мобильной_связи](http://www.tadviser.ru//index.php/Статья:5G_(пятое_поколение_мобильной_связи)
12. Д. С. Кулябов, А. В. Королькова. Архитектура и принципы построения современных сетей и систем телекоммуникаций.
13. 5G New Radio (5G NR): особенности проектирования новых архитектур и решений. URL: <https://networkguru.ru/5g-new-radio-nr/>
14. Three Services from 5G: Massive Machine Type Communications. URL: <https://blogs.cisco.com/sp/3services5gmassmachine>
15. Радиоинтерфейс систем 5G. URL: <https://habr.com/ru/post/263865/>

16. В.О. Тихвинский. Сети мобильной связи 5G. Технологии, архитектура и услуги
17. 3GPP Release 16. URL: <https://www.3gpp.org/release-16>
18. Федоров С.О., Правило В.В. Надширокосмуговий мобільний зв'язок як один із перших сервісів 5G // «Перспективи телекомунікацій 2020»